

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Únosnost kotevních prvků lehkých obvodových plášťů  
Resistance of fasteners lightweight cladding

Student:

Bc. Martin Řezáč

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Hurta

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Řezáč**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Únosnost kotevních prvků lehkých obvodových plášťů**  
**Resistance of fasteners lightweight cladding**

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je zjištění skutečné únosnosti kotevních prvků lehkých obvodových plášťů. Práce bude rozdělena na dvě části, teoretickou a experimentální. Teoretická část se bude věnovat současnému provádění kotevních systémů pro lehké obvodové pláště a popisu problematiky při jejich realizaci. Experimentální část bude zaměřena na vytrhávání kotevních prvků z běžně používaných stavebních materiálů.

Osnova:

1. Úvod.
2. Současný stav navrhování kotvení lehkých obvodových plášťů.
3. Vady a poruchy při realizaci lehkých obvodových plášťů.
4. Příprava experimentálního měření.
5. Vyhodnocení provedených experimentů.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN EN 13830 (747209) Lehké obvodové pláště - Norma výrobku (Září 2004).  
ČSN EN 12152 (747208) Lehké obvodové pláště - Průvzdušnost - Funkční požadavky a klasifikace (Prosinec 2002).  
ČSN EN 14019 (747210) Lehké obvodové pláště - Odolnost proti nárazu - Funkční požadavky (Únor 2005).  
ČSN P 747250 (747250) Lehké obvodové pláště - Požadavky na zabudování (Prosinec 2014).  
ČSN EN 771-1 Specifikace zdicích prvků - Část 1: Pálené zdicí prvky (Listopad 2011).  
ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (Říjen 2011).  
ČSN EN 1052-1 Zkušební metody pro zdivo - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (Říjen 1999).  
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí (Srpen 2005).

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hurta**

Datum zadání: 28.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



Ing. Libor Židek  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace**

Téma diplomové práce se zabývá měřením únosnosti kotevních prvků sklo-hliníkových lehkých obvodových plášťů. Kotevními prvky se v tomto případě rozumí hliníková kotva tvaru „H“, kotvená závitovou tyčí a chemickou maltou do nosné konstrukce. V drtivé většině případů je nosná konstrukce tvořena třemi materiály – beton, keramika a plynosilikát. Technické nebo montážní listy, systémů pro lehké obvodové pláště, přesně nespecifikují maximální zatížení kotev s ohledem na materiál nosné konstrukce. V praxi se provádí výtažné zkoušky závitových tyčí, tyto zkoušky zanedbávají vliv hliníkové kotvy, výsledky jsou tedy zkreslené. Tato práce bude zkoumat únosnost a chování kotevních prvků, při simulování reálného účinku zatížení v zabudované konstrukci lehkého obvodové pláště. Výsledkem bude ucelený obraz o únosnosti kotev pro lehké obvodové pláště ve třech nejběžnějších materiálech tvořící nosnou konstrukci.

## **Klíčová slova**

lehké obvodové pláště, kotevní prvky, únosnost, chemická malta

## **Annotation**

The theme of the thesis deals with measuring the resistance of the fasteners glass-aluminum curtain walling. Anchoring elements, in this case aluminum anchor means an "H", and a threaded rod anchored chemical mortar to the structure. In most cases, the support structure is composed of three materials - concrete, ceramics and silica fume. Technical or assembling sheets, systems for curtain walling, exactly specify the maximum load anchors with regard to the material structure. In practice the pull-out tests carried threaded rods, these tests neglecting the influence of aluminum anchors, results are therefore distorted. This paper will examine the capacity and behavior of fasteners, while simulating a real load effect in embedded design lightweight cladding. The result will be a complete picture of the ultimate anchor for curtain walling in the three most common material forming the structure.

## **keywords**

curtain walling, anchoring elements, strength, chemical mortar

## Obsah

Obsah.....	7
Seznam značek a značení .....	10
1. Úvod .....	12
1.1 Lehké obvodové pláště .....	13
1.2 Problematika .....	14
1.3 Legislativa, normy, předpisy .....	15
1.3.1 Směrnice Evropského parlamentu a rady - 2010/31/EU .....	16
1.3.2 ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky .....	17
1.3.3 Vyhláška č. 268/2009 Sb., § 9 Mechanická odolnost a stabilita .....	20
1.3.4 Směrnice ETAG .....	21
2. Provádění a návrh kotvení lehkých obvodových plášťů .....	23
2.1 Způsoby kotvení LOP .....	24
2.1.1 Kotvení podepřením .....	24
2.1.2 Kotvení zavěšením .....	26
2.2 Kotvicí prvky LOP .....	28
2.2.1 „H“ Kotva .....	29
2.2.2 Závitová tyč .....	30
2.2.3 Chemická malta .....	30
2.3 Materiál nosné konstrukce pro kotvení .....	30
2.3.1 Beton .....	31
2.3.2 Keramické tvárnice .....	31
2.3.3 Plynosilikát .....	31
2.4 Zatížení kotevního systému LOP .....	32
2.5 Návrh únosnosti kotev .....	34
2.6 Ověřování únosnosti kotevních prvků .....	34

3.	Vady a poruchy kotvicích prvků při realizaci lehkých obvodových plášťů.....	34
3.1	Montážní postup kotvení .....	35
3.2	Vady a poruchy způsobené technologickou nekázní při montáži .....	35
3.2.1	Pozice otvoru vzhledem k hranám nebo dalšímu otvoru .....	35
3.2.2	Nečistoty v otvoru .....	36
3.2.3	Podmínky při aplikaci chemické malty .....	36
3.2.4	Množství chemické malty v otvoru .....	36
3.2.5	Způsob montáže závitové tyče .....	36
3.2.6	Nedodržení doby zpracování chemické malty .....	36
3.3	Vady a poruchy způsobené přetížením kotevních prvků.....	37
3.4	Vady a poruchy způsobené jinými faktory .....	38
3.5	Vady a poruchy – beton a vliv „H“ kotvy .....	38
3.6	Vady a poruchy – keramika a vliv „H“ kotvy .....	39
3.7	Vady a poruchy – plynosilikát a vliv „H“ kotvy .....	41
4.	Příprava experimentálního měření .....	43
4.1	Aplikace evropské směrnice ETAG a schválení ETA.....	43
4.2	Popis zkušebního zařízení pro experimentální měření .....	44
4.3	Kotevní sestava pro kotvení do betonu.....	48
4.4	Kotevní sestava pro kotvení do keramických bloků.....	49
4.5	Kotevní sestava pro kotvení do plynosilikátových bloků.....	50
5.	Výsledky provedených experimentů .....	51
5.1	Výsledky měření – beton .....	52
5.1.1	Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků .....	52
5.1.2	Experimentální výtažné zkoušky .....	54
5.2	Výsledky měření – keramika .....	56
5.2.1	Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků .....	56
5.2.2	Experimentální výtažné zkoušky .....	60



5.3	Výsledky měření – plynosilikát .....	62
5.3.1	Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků .....	62
5.3.2	Experimentální výtažné zkoušky .....	66
5.4	Srovnání naměřených hodnot .....	68
5.4.1	Srovnání naměřených hodnot jednotlivých zkoušek .....	68
5.4.2	Porovnání naměřených hodnot s garantovanými hodnotami výrobcem .....	70
6.	Závěr .....	72
7.	Seznam použitých pramenů .....	74
8.	Seznam obrázků, tabulek a grafů .....	75
8.1	Seznam obrázků .....	75
8.2	Seznam tabulek .....	76
8.3	Seznam grafů .....	77
9.	Přílohy .....	78

**Seznam značek a značení**

LOP	lehký obvodový plášť
in situ	„na místě“, zkoušky, měření atd. v místě zabudování konstrukce
PTM	přerušení tepelného mostu
EOTA	Evropská organizace pro technická schvalování (European Organisation for Technical Approvals)
ETAG	řídící pokyny pro evropská schválení (European Technical Approval Guidelines)
ETA	Evropská technická schválení (European Technical Approval)
U	součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]
$U_n$	součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ], požadované hodnoty
$U_{\text{rec}}$	součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ], doporučené hodnoty
$U_{\text{pas}}$	součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ], doporučené hodnoty pro pasivní budovy
$U_g$	součinitel prostupu tepla izolačním sklem [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]
$U_w$	součinitel prostupu tepla izolačním prosklenou konstrukcí [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]
EU	Evropská unie
ČSN	Česká technická norma
$S_{\text{min}}  $	vzdálenost mezi kotvícími body
$C_{\text{min}}$	vzdálenost od hran bloků
$d_0$	průměr vrtaného otvoru
$h_{\text{ef,min}}$	minimální efektivní kotevní délka
$h_{0,\text{min}}$	minimální kotevní délka otvoru
$T_{\text{inst,max}}$	maximální krouticí moment utažení matice
F	zatěžovací síla
$F_s$	smyková zatěžovací síla
$F_t$	tahová zatěžovací síla
M	zatěžovací ohybový moment
e	excentricita síly F od bloku materiálu
r	vzdálenost osy kotvícího bodu od osy otáčení „H“ kotvy
$n_k$	počet kotev
O	osa otáčení
$N_{\text{perm}}$	garantovaná tahová zatěžovací síla výrobcem kotvících prvků

$V_{perm}$	garantovaná smyková zatěžovací síla výrobcem kotvících prvků
P+D	označení typu keramické tvárnice, pero + drážka
Bx	značení vzorků betonu pro zkoušky simulace reálného zatížení
Kx	značení vzorků keramiky pro zkoušky simulace reálného zatížení
Yx	značení vzorků plynosilikátu pro zkoušky simulace reálného zatížení
Bxt	značení vzorků betonu pro výtažné zkoušky
Kxt	značení vzorků keramiky pro výtažné zkoušky
Yxt	značení vzorků plynosilikátu pro výtažné zkoušky

## 1. Úvod

Přirozenou sebereflexí a zároveň potřebou zajištění bezpečí člověka je vybudování stavby pro bydlení. Již pravěcí lidé si stavěli primitivní přístřešky a obydlí jako ochranu před povětrnostními vlivy nebo ochranou před nebezpečím „vnějšího“ světa. S nadsázkou můžeme říct, že první realizací takovéto stavby vznikl vědní obor nazvaný stavebnictví. S každou novou stavbou se člověk učil, zlepšoval a čerpal z předchozích zkušeností, tím započal proces zdokonalování výstavby. Tento proces se nikdy nezastaví a my jej, v dnešní době, můžeme vnímat zaváděním požadavků, nařízení a norem.

Jedním zpřísnujícím požadavkem na stavby je, od 31. 12. 2020, snížení spotřeby energie nových budov téměř na nulu, tzv. nulové stavby. Budovy veřejné správy tento požadavek musí splňovat již od 31. 12. 2018. Nařízení ukládá směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU [1].

Snížení spotřeby energie budov sebou přináší nový pohled na stavební dílo. V minulosti a někdy i v současné době se na stavební dílo nahlíží především z hlediska funkčnosti. Stavby pro bydlení, pro administrativu, pro výrobní procesy, pro zdravotnictví, pro vzdělávání, pro sport, kulturu atd. Až druhotným požadavkem na stavební dílo je snížení dopadu stavby na životní prostředí v globálnějším měřítku, lokálně tento aspekt výstavby řeší EIA. Podíl budov na celkové spotřebě energie v Evropské Unii činí 40% [1]. Výstavba nových budov nabírá na obrátkách a dopad na životní prostředí se tedy zhoršuje. Je proto nutné legislativně zavést přísnější požadavky na navrhování a následnou realizaci nových budov. A to snížením spotřeby energie a využíváním energie z obnovitelných zdrojů.

Nejefektivnějším snížením spotřeby energie budovy je zamezit energetickým ztrátám přes obálku budovy (zateplením izolantem, provětrávané dvojité obvodové pláště, stínící technika atd.). Dalšími možnostmi jak snížit spotřebu energie budovy jsou různé technologie v podobě rekuperace tepla, tepelná čerpadla, solární systémy atd.

Obálka budovy je obecně tvořena základovou konstrukcí, obvodovým pláštěm a střešní konstrukcí. Abychom dosáhli kýženého cíle snížit spotřebu energie, je nutné přijatou energii zachovat v budově, zamezit jejím ztrátám a snažit se ji využít na 100%. Toho docílíme snížením součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2.K$ ], dále jen  $U$ , obálky budovy, vyloučením tepelných

mostů a snížením průvzdušnosti konstrukcí. V praxi to znamená doplnění části budov tepelným izolantem a zlepšení tepelně technických vlastností výplní otvorů a lehkého obvodového pláště, dále jen LOP.

Neprůhledný obvodový plášť tvořený například nosným zdivem, skeletovým systémem s výplňovým zdivem, rámové konstrukce dřevostaveb s obložením dřevovláknitými deskami atd. lze zateplit vcelku jednoduše a to například kontaktním zateplovacím systémem. Podobným způsobem lze zateplit také základy a střešní konstrukce. Jako izolant je nejpoužívanější polystyren a minerální vata. Takto zateplené konstrukce mají, v závislosti na skladbě a použitých materiálech, velmi nízký součinitel prostupu tepla  $U$  vyhovující předepsaným hodnotám dle normy ČSN 73 0540.

V případě výplní otvorů (okna, dveře) docílíme zlepšením tepelně technických vlastností výrobků zmenšením součinitele prostupu tepla  $U$  (změnou zasklívacího panelu, hloubkou profilu rámu), eliminací tepelných mostů posunutím - předsazením výplní otvorů do roviny tepelného izolantu. Předsazením výplně otvoru vznikne problém. Váha výplně otvoru působí v místě nenosného izolantu. Tímto problémem se zabývá firma EJOT CZ s.r.o. a za tímto účelem vyvinula systém pro předsazenou montáž za použití materiálu CompaCFoam v kombinaci s nosnými plechovými úhelníky. Tento materiál je nově vyvinutá termoplastická pěna na bázi polymeru polystyrenu, která se vyznačuje vysokou únosností v tlaku, až  $9,73 \text{ N/mm}^2$  při 5,0 % stlačení a shodnými tepelně technickými vlastnostmi několikanásobně méně únosného polystyrenu [2].

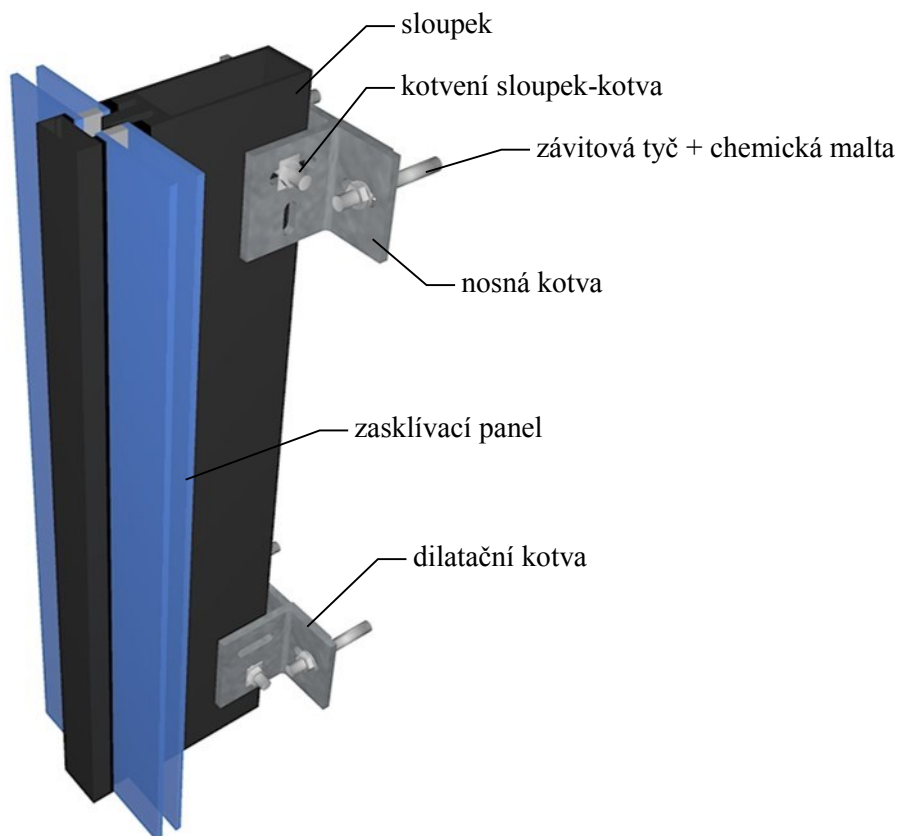
V případě LOP, který se skládá z hliníkových sloupků, příček a zasklívacího panelu, lze efektivně zlepšit jeho  $U$  především změnou zasklívacího panelu. Tento fakt vychází z výpočtu  $U$ , který se počítá z poměru plochy zasklení ku ploše rámu.

## **1.1 Lehké obvodové pláště**

Lehké obvodové pláště, konstrukce, se kterou se setkáme téměř na každé vícepodlažní budově, zejména u staveb jako jsou budovy pro administrativu, hotely, sídla velkých korporací, školské zařízení nebo obchodní centra. U menších staveb jakou jsou budovy do dvou podlaží nebo rodinné domy se s lehkým obvodovým pláštěm setkáme v menší míře.

Lehký obvodový plášť lze charakterizovat jako sloupkově příčkový systém, kde pole vytvořená svislými sloupky a vodorovnými příčkami jsou vyplněna – zasklena zasklívacím panelem. Podrobnější popis LOP popsán na obrázku 1.

*Obrázek 1 části LOP*



## 1.2 Problematika

Diplomová práce se zabývá experimentálními zkouškami únosnosti kotevních prvků LOP. Předmětem zkoušek je reálná únosnost kotvicích prvků (závitové tyče + chemická malta) LOP ve třech nejběžnějších stavebních materiálech – plynosilikátová tvárnice, dutinová keramická tvárnice a beton. Kotvicí prvky zastupuje, ve stavební praxi velmi rozšířený, kotící systém Fischer FIS VT.

Hlavním důvodem zpracování daného tématu je zavedení směrnice 2010/31/EU [1], která zpřisňuje požadavky na energetické ztráty budov. LOP jsou integrovanou součástí obálky budov a zpřisňující požadavky se ho tak přímo týkají. V dnešní době je nejčastějším zasklívacím panelem izolační dvoj-sklo, které v budoucnu svým  $U_g$  nebude vyhovovat

požadavkům nulových budov a bude se muset přistoupit k používání izolačních troj-skel nebo dokonce čtyř-skel. Tím se zvýší zatížení na kotevní prvky LOP.

Výrobci systému LOP v katalozích, certifikátech ani v softwaru pro navrhování LOP nedeklarují únosnosti kotev nebo jejich chování při zatížení. Toto téma bylo konzultováno se zástupci hlavních dodavatelů systémů LOP pro Českou republiku. Výsledek těchto konzultací byl takový, že dodavatelské firmy nemají zpracovány žádné zkoušky únosnosti kotvicích prvků při simulování reálného zatížení zabudované konstrukce a tuto povinnost tak převádí na firmy realizující LOP.

V praxi firmy realizující LOP vycházejí při návrhu kotvení zejména ze zkušeností z předešlých realizací. Vypracování statického návrhu a posudku kotvení je pro firmy jak finančně tak časově náročné, zejména při zakázkách menšího rozsahu, kde je kladen velký tlak na cenu a termín dokončení díla. Což má za následek určitou nejistotu a důsledkem je předimenzování kotevních prvků. U zakázek většího rozsahu je téměř vždy prostor a finance na kompletní statický posudek kotvení. Ovšem mnohdy ani v těchto případech není posudek zpracován a realizační firma se řídí empirií.

Jak je uvedeno výše v textu od data 31. 12. 2018 a 31. 12. 2020 dojde ke zpřísnění požadavků na nově realizované budovy z hlediska tepelných ztrát dle směrnice 2010/31/EU [1], a tedy únosnost kotevních prvků LOP bude velice řešeným tématem v této oblasti.

### **1.3 Legislativa, normy, předpisy**

Podíváme-li se na legislativu z globálního hlediska, zjistíme, že její primární funkcí je chránit a zkvalitnit různé aspekty našeho života. Ve stavebně technické praxi se s legislativou setkáváme ve formě zákonů, vyhlášek, nařízení, norem a ustanovení. Právní řád podléhá jisté hierarchii, to znamená, pokud je nižší předpis v rozporu s vyšším platí ustanovení vyššího. Takovéto rozpory jsou dále řešeny Ústavním soudem. Princip hierarchie je následující [3]:

- I. nařízení, směrnice, rozhodnutí EU (Úřední věstník Evropských společenství)
- II. mezinárodní smlouva (Sbírka mezinárodních smluv ČR)
- III. zákony, vyhlášky, nařízení vlády (Sbírka zákonů ČR)
- IV. vyhlášky vydané krajskými a obecními úřady (věstník právních předpisů krajů, Sbírka právních předpisů hl. m. Prahy, úřední deska obecních úřadů)

- V. další dokumenty, pokud na ně právní předpisy odkazují (např. účetní standardy, Standardní klasifikace produkce, ČSN normy)

Z uvedené hierarchie je patrné, že Česká republika musí zakomponovat SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: o energetické náročnosti budov. 2010/31/EU do své legislativy a tato směrnice je závazná.

Jelikož neexistuje harmonizovaná norma EU, která by popisovala kritéria návrhu a metodiku zkoušení dodatečně montovaných lepených kotev (závitová tyč + chemická malta) je nutné vyjít z řídících pokynů pro evropská technická schválení (směrnice ETAG).

Diplomová práce je zpracovaná a vychází dle několika legislativních požadavků. Těmi základními jsou:

- SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: o energetické náročnosti budov. 2010/31/EU
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby - § 9 Mechanická odolnost a stabilita
- ETAG 001 a 029 - Řídící pokyn pro Evropská technická schválení – kovové kotvy
- schválení ETA-08/0061, ETA-10/0383, ETA-12/0180
- Zásady výpočtů a navrhování dle Eurokódu

### **1.3.1 Směrnice Evropského parlamentu a rady - 2010/31/EU**

Hlavním impulsem vydání a schválení směrnice 2010/31/EU je dopad stavitelství na životní prostředí z pohledu spotřeby energie budov. Evropská Unie usiluje o účinném, racionálním a udržitelném využívání energie [1]. Podíl budov na celkové spotřebě energie v Evropské Unii činí 40%. Zavedením směrnice 2010/31/EU se Unie snaží dodržet závazek vycházející z Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC), který požaduje, do roku 2020, snížení celkové emise skleníkových plynů alespoň o 20% a zároveň zamezit nárůstu globální teploty nad 2°C. Členské státy EU musí zajistit dle článku 9 odstavce 1 směrnice 2010/31/EU:

*„a) do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie a*



*b) po dni 31. prosince 2018 nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie.“*

Směrnice přímo nespecifikuje jednotlivé požadavky na konstrukce z tepelně technického hlediska, ovšem požaduje dle lokálních podmínek snížit spotřebu energie budovy téměř na nulu. Definice nulové budovy dle směrnice 2010/31/EU, článek 2 odstavec 2:

*„2) "budovou s téměř nulovou spotřebou energie" je budova, jejíž energetická náročnost určená podle přílohy I je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí;“*

Z toho vyplývá, že budovy by měli téměř splňovat pasivní standard dle ČSN 73 0540. V této normě je uvedena metodika posuzování staveb z tepelně technického hlediska. Konkrétně ČSN 73 0540-2 přímo specifikuje hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  jednotlivých konstrukcí ovlivňující energetickou náročnost stavby.

LOP splňuje definici z článku 2 odstavce 7 směrnice 2010/31/EU:

*„7) "obvodovým pláštěm budovy" integrované prvky budovy, které oddělují její interiér od vnějšího prostředí;“*

LOP tvoří v některých případech až 90 % z celkové plochy obvodového pláště budovy, a tedy tvoří jednu z hlavních složek vstupující do hodnocení budovy z pohledu energetické náročnosti.

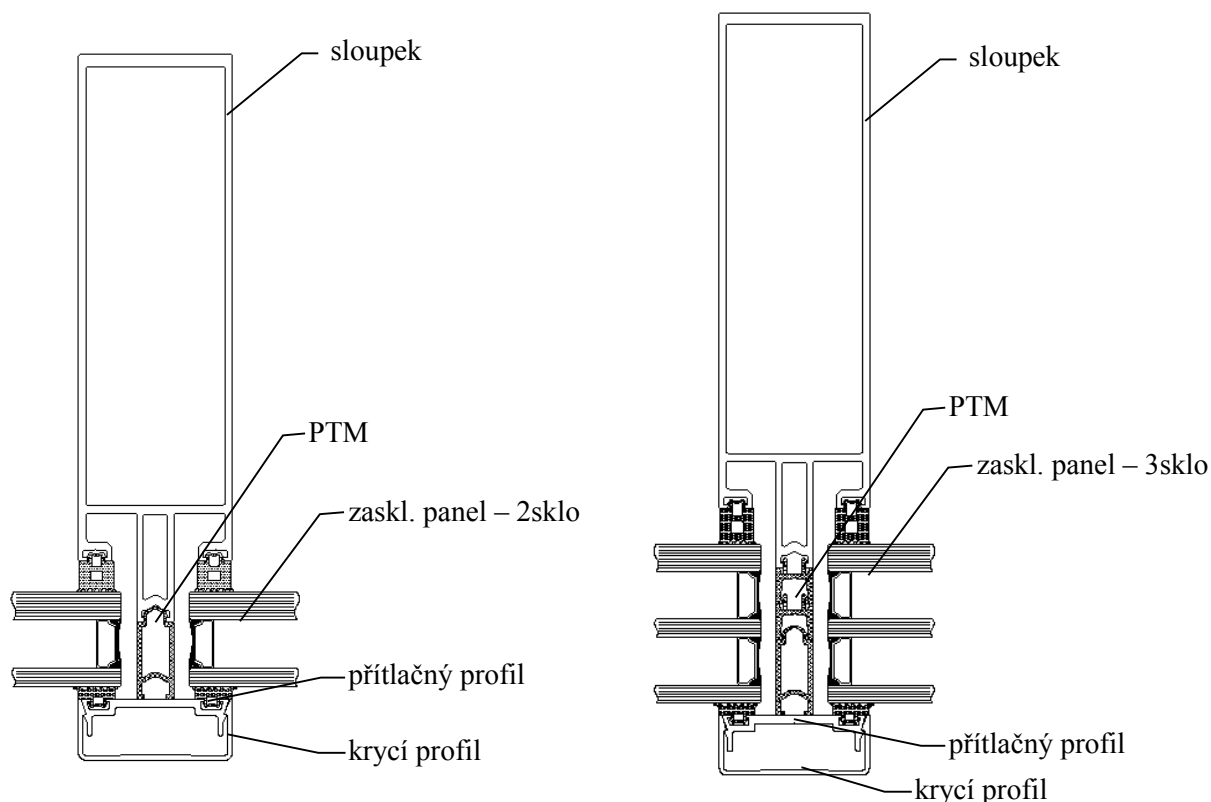
### **1.3.2 ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky**

Zavedením směrnice Evropského parlamentu 2010/31/EU, se zpřísní požadavky na součinitel prostupu tepla  $U$  [ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ] konstrukcí tvořící obálku budovy. Norma ČSN 73 0840-2 uvádí hodnoty  $U$  pro různé konstrukce obálky budovy. Tyto hodnoty se dělí do třech kategorií: požadované hodnoty ( $U_n$ ), doporučené hodnoty ( $U_{\text{rec}}$ ) a doporučené hodnoty pro pasivní budovy ( $U_{\text{pas}}$ ). V případě použití izolačního dvojskla u LOP dosáhneme hodnoty celkového součinitele prostupu tepla konstrukcí cca  $U = 1,7 - 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Od roku 2018 respektive 2020 nebude tato hodnota v 90 % vyhovující. LOP budou muset splňovat hodnotu pohybující se na

hraně požadovaných hodnot pro pasivní budovy dle ČSN 73 0840-2, což je hodnota v rozmezí cca  $U = 0,9 - 0,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  [12].

Snížení celkového  $U$  docílíme u LOP zlepšením  $U$  jednotlivých částí, ze kterých se LOP skládá. Na obrázku 2 je vyobrazen řez sloupkem LOP [13]. Nosnou část tvoří hliníkový profil, na němž je namontován prvek z polyamidu, tento prvek plní funkci přerušení tepelného mostu - PTM. Mezi profily příček a sloupků vznikne prostor pro umístění zasklívacího panelu. Zasklívací panel je na své pozici stabilizován přitlačným profilem s krycím profilem.

*Obrázek 2 řez sloupkem LOP, 2sklo, 3sklo*

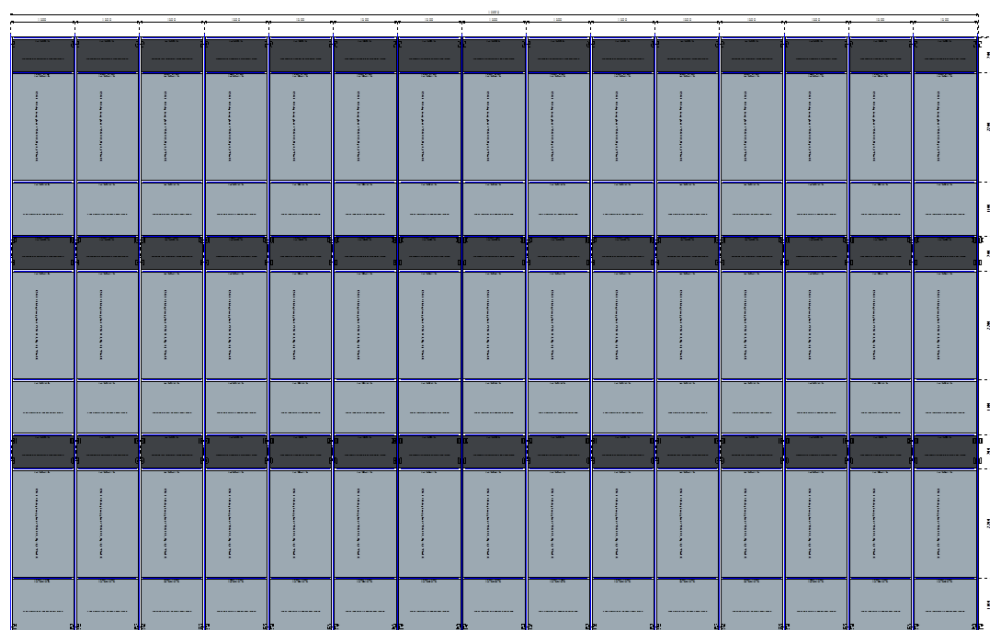


Jak je patrné ze skladby LOP, možnosti zlepšení  $U$  jednotlivých částí jsou velice omezené a komplikované. V případě nosných prvků, sloupků a příček, by mělo snížení  $U$  za následek vývoj nových profilů nebo jiného řešení PTM. K tomuto kroku dodavatelské firmy systémů pro LOP v následujících letech nesměřují. Jediným prvkem, u kterého se  $U$  dá radikálně snížit je zasklívací panel. Ze vzorce pro výpočet celkového  $U$  konstrukce LOP je patrné,

že rozhodujícím faktorem je plocha zasklení a tedy snížením  $U$  zasklívacího panelu docílíme i snížení celkového  $U$  konstrukce LOP.

Pro názornost byly v softwaru pro návrh lehkých obvodových plášťů MBCAD porovnány dvě konstrukce, viz obrázek 3. Obě konstrukce se shodují svými rozměrovými a geometrickými parametry. Jediný rozdíl mezi konstrukcí A a B je v typu zasklívacího panelu. U konstrukce A bylo použito dnes standardní izolační dvojsklo, u konstrukce B bylo použito izolační trojsklo. Návrh složení a dimenze izolačních skel byl proveden firmou WMA-GLASS s.r.o.

**Obrázek 3** pohled na konstrukci LOP



Výstupy ze softwaru MBCAD jsou uvedeny v tabulce 1. Změnou izolačního dvojskla s  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  za izolační trojsklo s  $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  dosáhneme snížení celkového  $U_w$  konstrukce LOP o 40 %, z hodnoty 1,5 na  $0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , a zvýšením hmotnosti  $m$  o 35,5 % z 10 101 na 13 684 kg.

**Tabulka 1** výstupy ze softwaru MBCAD

Parametr	A	B	Provnání B vzhledem k A [%]
zasklívací panel	2-sklo: 6-16-6	3-sklo: 6-16-6-16-6	-
$U_g [\text{W/m}^2\cdot\text{K}]$	1,1	0,5	54,5 ↓
$U_w [\text{W/m}^2\cdot\text{K}]$	1,5	0,9	40 ↓
$m [\text{kg}]$	10 101	13 684	35,5 ↑

### 1.3.3 Vyhláška č. 268/2009 Sb., § 9 Mechanická odolnost a stabilita

Konstrukce LOP musí být navržena tak, aby každá její část splňovala mechanickou odolnost a stabilitu. To znamená splnění požadavků vyhlášky č. 268/2009 Sb., §9 :

*„(1) Stavba musí být navržena a provedena v souladu s normovými hodnotami tak, aby účinky zatížení a nepříznivé vlivy prostředí, kterým je vystavena během výstavby a užívání při řádně prováděné běžné údržbě, nemohly způsobit*

*a) náhlé nebo postupné zřícení, popřípadě jiné destruktivní poškození kterékoliv její části nebo přilehlé stavby,*

*b) nepřípustné přetvoření nebo kmitání konstrukce, které může narušit stabilitu stavby, mechanickou odolnost a funkční způsobilost stavby nebo její části, nebo které vede ke snížení trvanlivosti stavby,*

*c) poškození nebo ohrožení provozuschopnosti připojených technických zařízení v důsledku deformace nosné konstrukce,*

*d) ohrožení provozuschopnosti pozemních komunikací a drah v dosahu stavby a ohrožení bezpečnosti a plynulosti provozu na komunikaci a dráze přiléhající ke staveništi,*

*e) ohrožení provozuschopnosti sítí technického vybavení v dosahu stavby,*

*f) porušení staveb v míře nepřiměřené původní příčině, zejména výbuchem, nárazem, přetížením nebo následkem selhání lidského činitele, kterému by bylo možno předejít bez nepřiměřených potíží nebo nákladů, nebo jej alespoň omezit,*

*g) poškození staveb vlivem nepříznivých účinků podzemních vod vyvolaných zvýšením nebo poklesem hladiny přilehlého vodního toku nebo dynamickými účinky povodňových průtoků, případně hydrostatickým vztlakem při zaplavení,*

*h) ohrožení průtočnosti koryt vodních toků, případně údolních profilů, mostů a propustků.“*

Aby byly výše zmíněné požadavky splněny, musí dojít ke správné dimenzi zasklívacího panelu vzhledem k jeho ploše, poměru stran, složení a hmotnosti. Maximální rozměry zasklívacího panelu určuje výrobce skla nebo statik. Jako příklad jsou v tabulce 1 uvedeny rozměry základních typů izolačního skla dle firmy AKUTERM SKLO a.s. [4].

Tabulka 2 návrh dimenze dvojskel

Složení	Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	Max. doporuč. délky stran [mm]	Max. doporuč. ploch [m <sup>2</sup> ]	Max. doporuč. poměr stran
2x4	20	2400	2,8	1:06
2x5	25	3000	4,5	1:10
2x6	30	4000	6,8	1:10
2x8	40	4000	10,0	1:10

Zasklívací panel je osazen na vodorovný prvek LOP – příčku, která přenáší zatížení přes spoj do sloupku. Je tedy nutné dimenzovat skelet LOP, který tvoří příčky a sloupky, tak aby odolali zatížení od vlastní tíhy a klimatických vlivů bez překročení limitních průhybů nebo překročení únosnosti spoje příčka-sloupek. Pro návrh skeletu LOP se využívá různých softwarů od různých dodavatelů systému profilů pro LOP. Jako příklad lze uvést program MBCAD vyvinutý firmou Aluprof System, program ReynaPro od firmy Reynaers, program Schüco Software od firmy Schüco.

Ve fázi kdy je navrženo zasklení a nosné prvky LOP zbývá ověřit únosnost kotevních prvků přenášející zatížení do nosné konstrukce objektu. Na kotvicí prvky jsou kladeny stejné požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu jako v případě ostatních částí LOP. Kotevní prvky musí bezpečně přenášet zatížení od všech prvků LOP a klimatických vlivů a splňovat další požadavky z vyhlášky č. 268/2009 Sb., §9.

#### 1.3.4 Směrnice ETAG

Požadavky na dodatečně lepené kovové kotvy (závitová tyč + chemická malta), jejich provádění, zkoušení a uvedení na trh ošetřují tzv. ETAG. Jedná se o evropské směrnice určující řídící pokyny pro získání technického schválení výrobku, pro který neexistuje harmonizovaná norma EU. ETAG jsou vypracovávány a schvalovány Evropskou organizací pro technická schvalování (EOTA - European Organisation for Technical Approvals). Členské státy musí tyto směrnice zakomponovat do svého právního systému. Na základě těchto směrnic může být výrobkům uděleno evropské technické schválení – schválení ETA.

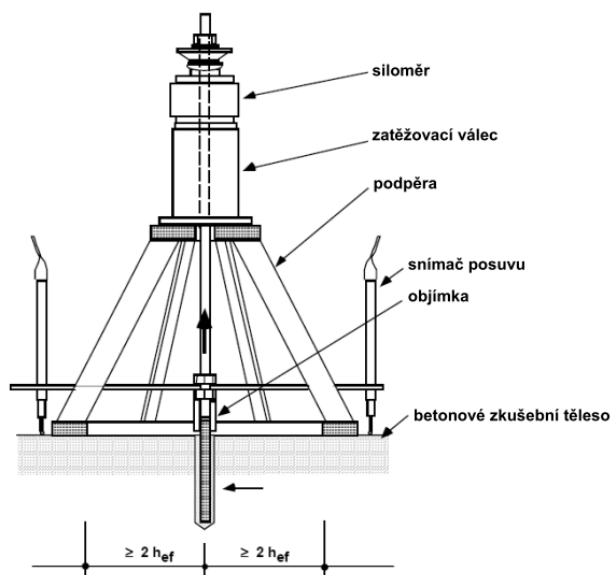
Pro experimentální zkoušky únosnosti kotvicích prvků LOP byly využity základní principy metodiky zkoušení dodatečně montovaných lepených ocelových kotev dle řídících pokynů ETAG 001 – kovové kotvy do betonu a ETAG 029 – kovové injektované kotvy do zdiva.

Zásady pro montáž dodatečně lepených ocelových kotev byly převzaty z dokumentů ETA-10/0383, ETA-12/0180 (kotvy do zdiva) a ETA-08/0061 (kotvy do betonu) dodavatele kotvicích prvků FIS VT, společnosti Fischerwerke GmbH & Co. KG., které taktéž vycházejí z řídicích pokynů směrnic ETAG 001 a ETAG 029.

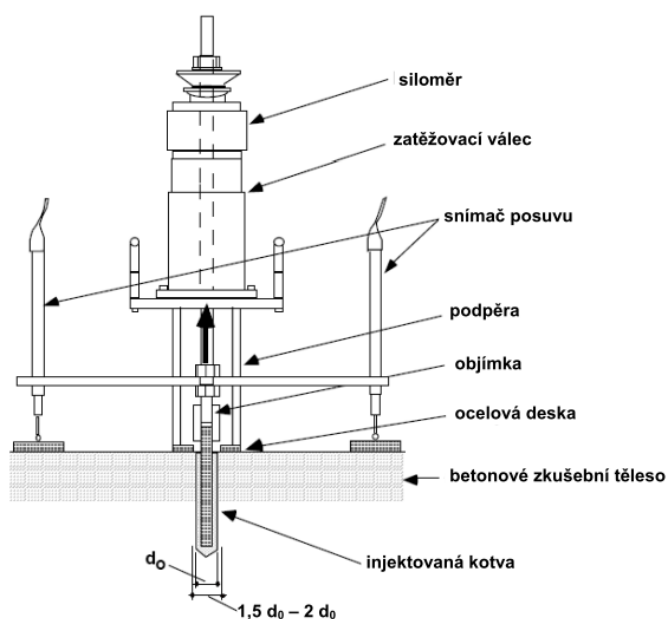
### **Zkoušky v tahu a smyku dle ETAG 001 a ETAG 029**

Řídící pokyny ETAG 001 (kotvy do betonu) a ETAG 029 (kotvy do zdiva) popisují metodiku zkoušek dodatečně lepených kovových kotev, jejichž výsledky jsou potřebné k ověření, schválení a uvedení výrobku na trh. Jedná se o zkoušky v tahu a smyku. Tyto zkoušky jsou graficky popsány na obrázcích 4-6[5][6], zkoušené kotvicí prvky jsou zatěžovány zkušebním zařízením do porušení. Zaznamenává se velikost zatížení a jemu odpovídající deformace. ETAG 001 a 029 dále určují požadavky na materiály ve, kterých jsou kotvy zkoušeny. Klade se důraz na materiálové složení zkušebních těles, jejich rozměry, pevnost, technologii přípravy a mechanický stav před zkoušením. Dodavatel usilující o uvedení výrobku na trh musí prokázat zkušební zprávou výsledky a závěry zkoušek. Zkušební zpráva musí obsahovat popis kotvicích prvků, popis zkušebních těles a naměřené hodnoty ze zkoušek. Podrobné náležitosti jsou vyjmenovány v příslušném ETAG. Na základě této zkušební zprávy vydá EOTA schválení ETA. Tento dokument deklaruje, že výrobek je vhodný pro dané použití dle příslušné legislativy a směrnic. Dále je v dokumentu uvedena přesná charakteristika kotvicích prvků, metody uvedení na trh, povinnosti dodavatele, požadavky na balení, skladování a dopravu, montážní postup a popis nosných konstrukcí, bloků do, kterých jsou kotvicí prvky kotveny.

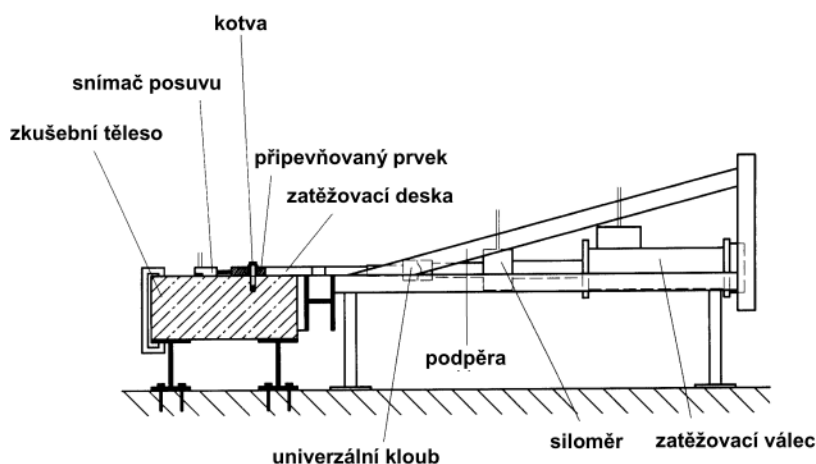
*Obrázek 4 Zkouška tahem bez zamezení vzniku porušení*



*Obrázek 5 Zkouška tahem se zamezením vzniku porušení*



*Obrázek 6 Zkouška smykem*



## 2. Provádění a návrh kotvení lehkých obvodových plášťů

Jak již bylo napsáno výše, firmy realizující LOP ve většině případů vycházejí při návrhu kotvení ze zkušeností z předešlých realizací. Drtivá většina doposud realizovaných LOP byla osazena izolačním dvojsklem. Zpřísněním požadavků na energetickou náročnost budov bude muset být izolační dvojsklo nahrazeno trojsklem a lepším. S čímž nemají firmy tolik zkušeností, a tedy návrh a chování kotevních prvků LOP bude aktuálním tématem, které se bude, hlavně

ze začátku velice řešit. Predikce do budoucna je taková, že postupem času, počtem realizací a ověřování kotvicích prvků přejde návrh kotvení znovu do roviny empirie.

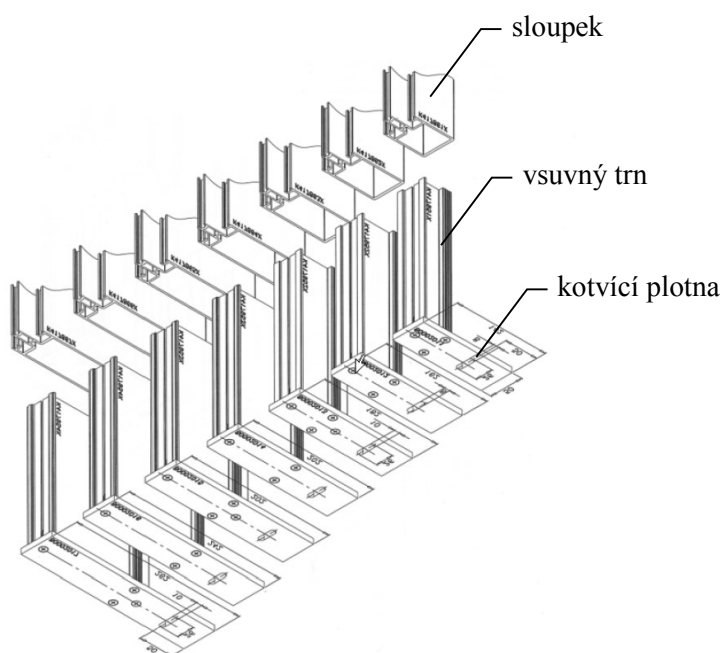
## 2.1 Způsoby kotvení LOP

Variant kotvení LOP k nosné konstrukci budovy je omezené množství. Dle správného technologického postupu provádění LOP existují pouze dva možné způsoby kotvení. A to kotvení zavěšením nebo podepřením.

### 2.1.1 Kotvení podepřením

Princip kotvení podepřením je takový, že do sloupku, v jeho patě, je vložen vsuvný trn s kotvící plotnou, viz obrázek 7 [13]. Přes tuto plotnu je kotva pomocí kotvicích prvků kotvena k nosné konstrukci. Tento způsob kotvení je vhodný u jednopodlažních staveb nebo u vícepodlažních staveb kde je LOP realizován v 1NP a je možné kotvení do základové konstrukce.

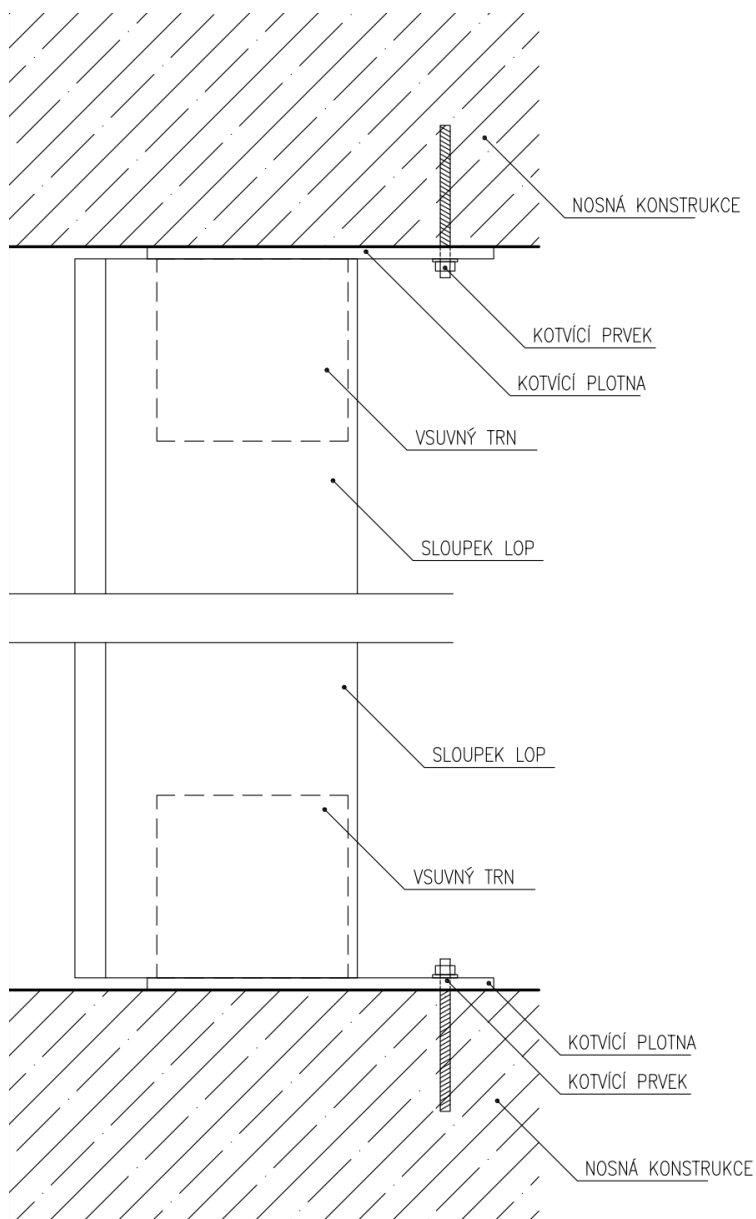
*Obrázek 7 vsuvné kotvy*



Na obrázku 8 je uveden příklad použití dvou vsuvných kotev, při patě a vrcholu sloupku. Tímto kotvením je zatížení od vlastní tíhy LOP přenášeno na kotvu v patě sloupku a zatížení od klimatických vlivů se rozloží na obě kotvy. U vrcholu sloupku musí být dodržena mezera mezi kotvící plotnou a sloupkem min 10 mm, tímto se zajistí dilatace ve svislém směru.

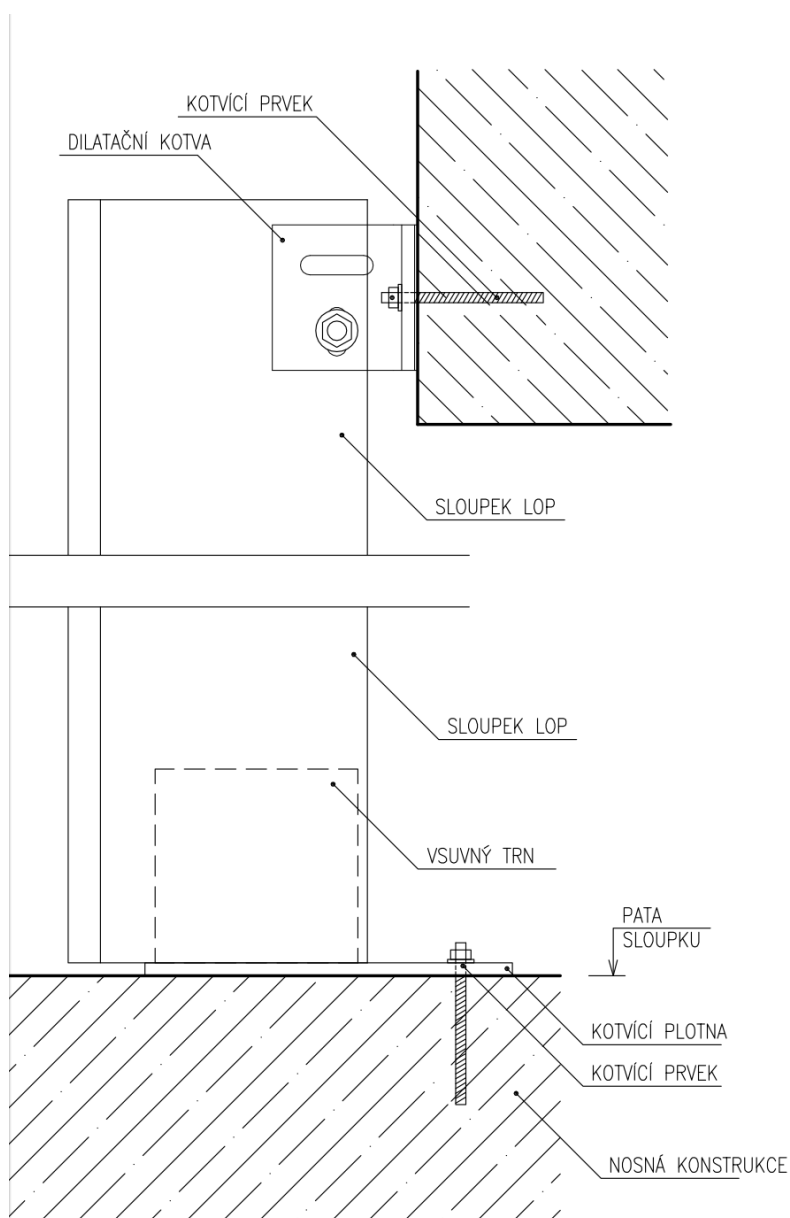


**Obrázek 8** kotvení podepření - 2x vsuvná kotva



Na obrázku 9 je znázorněna další varianta kotvení podepření použitím vsuvné kotvy v patě sloupku a „H“ kotvy ve vrcholu sloupku. Princip je stejný jako v případě použití 2x vsuvné kotvy. Zatížení od vlastní tíhy LOP je přenášeno do vsuvné kotvy v patě sloupku a zatížení od klimatických vlivů je rozloženo do obou kotev. U vrcholu sloupku musí být sloupek spojen s „H“ kotvou pomocí svorníkového spoje ve svislém oválném otvoru „H“ kotvy. Tento otvor umožní dilataci sloupku ve svislém směru.

**Obrázek 9** kotvení podepřením - vsuvná + "H" kotva

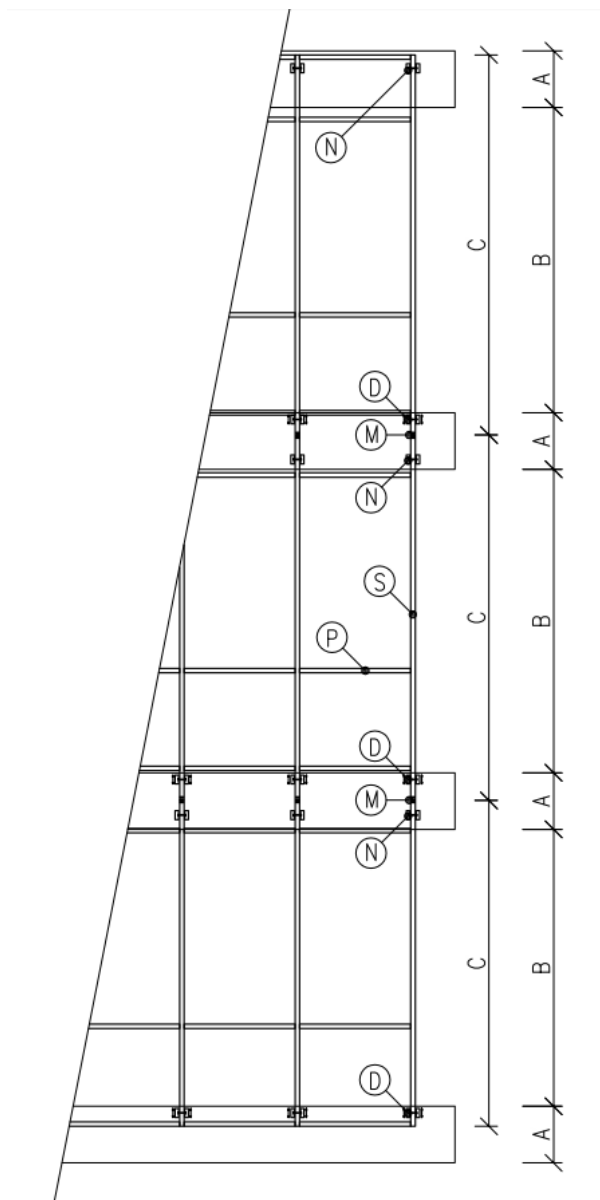


## 2.1.2 Kotvení zavěšením

Kotvení zavěšením je nejvíce používaným způsobem kotvení, zejména u vícepodlažních budov, kde LOP prochází přes dvě a více podlaží. V takovémto případě je LOP kotven z vnější strany nosné konstrukce, kterou může tvořit pozdní věnec, průvlak, nebo stěna. V některých případech nosnou konstrukci tvoří ocelová konstrukce, v takovémto případě se kotevní prvky spojí s konstrukcí pomocí šroubových spojů nebo se přivaří. Kotvením na ocelové konstrukce se téma diplomové práce nezabývá.

LOP jsou u vícepodlažních budov rozděleny na dilatační segmenty, nejčastěji v rámci jednoho podlaží. Jeden segment obsahuje vždy 1x nosnou „H“ kotvu a 1x dilatační „H“ kotvu, sloupky jsou mezi sebou spojeny dilatačním mezinosníkovým spojem, který umožňuje dilataci ve svislém směru. Tímto dojde k rozdělení LOP po výšce na jednotlivé dilatační segmenty. Na obrázku 10 jsou popsány prvky nosné konstrukce LOP.

**Obrázek 10** pohled na LOP

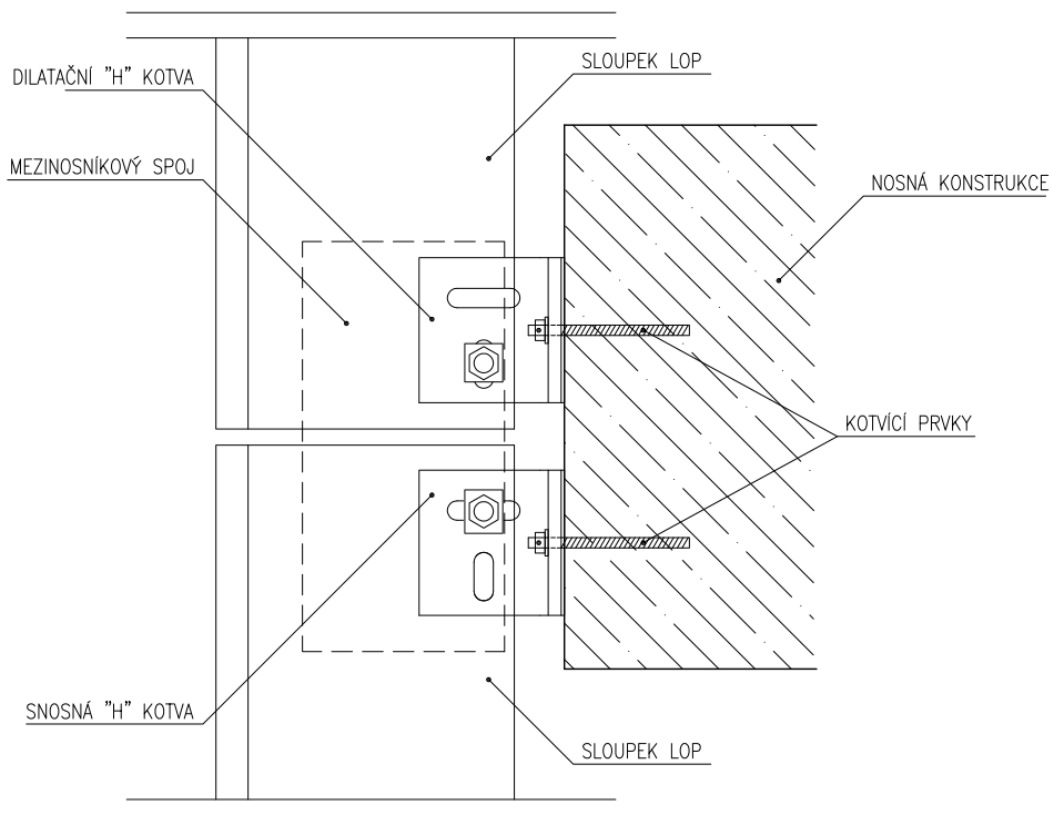


*A – kotvicí prostor, B – jednotlivá podlaží, C – dilatační segmenty, D – dilatační „H“ kotva,  
N – nosná „H“ kotva, M – mezinosníkový dilatační spoj, S – sloupek, P – příčka*

U vrcholu sloupku je umístěna nosná „H“ kotva a u paty nebo nad mezinosníkovým spojem je umístěna dilatační „H“ kotva. Zatížení od vlastní tíhy LOP přenáší nosná kotva ve vrcholu

sloupku, zatížení od klimatických vlivů je rozloženo mezi obě kotvy. Detailnější pohled na kotvení je znázorněn na obrázku 11.

**Obrázek 11** kotvení zavěšením - "H" kotvy



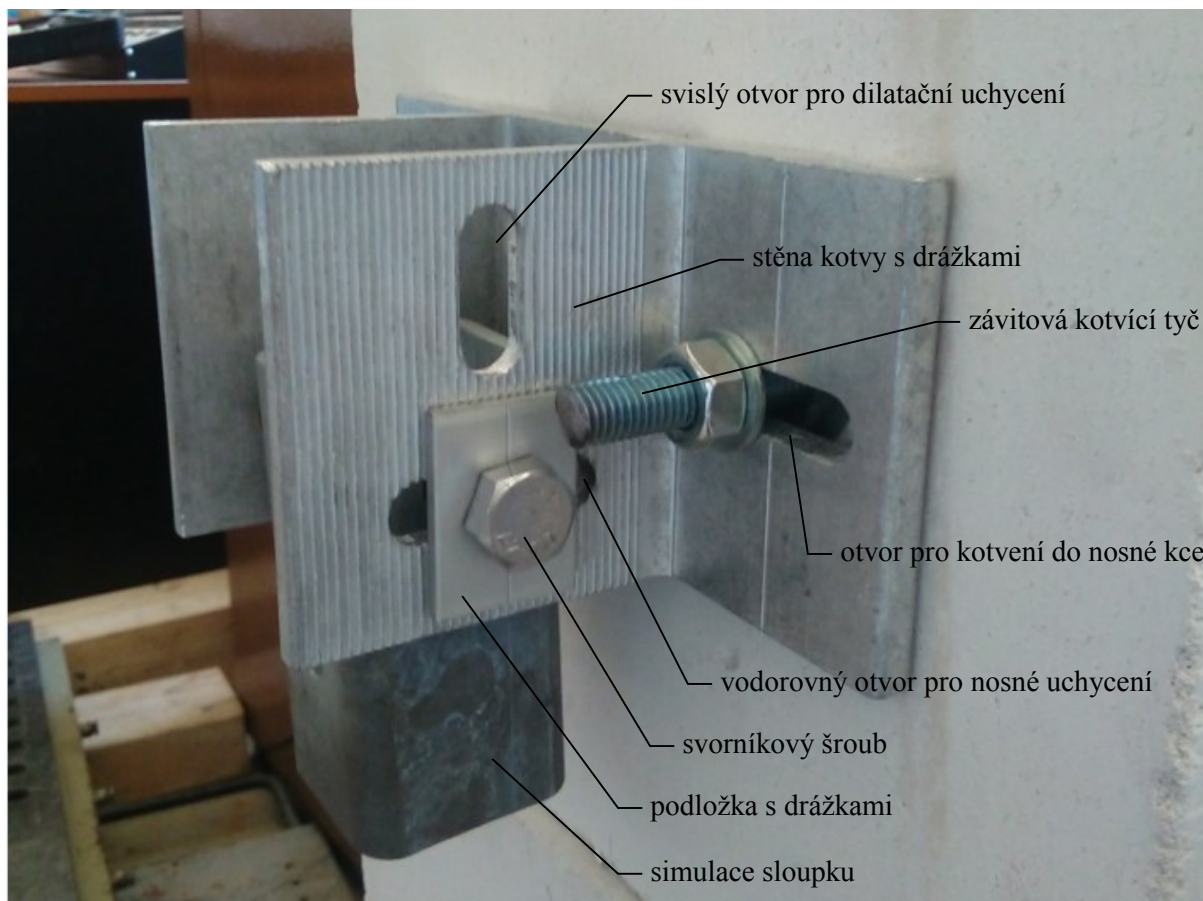
Téma diplomové práce se zabývá právě únosností a chováním kotevních prvků zavěšených LOP. Při tomto způsobu kotvení jsou kotvící prvky více namáhány než u podepřeného kotvení a tedy zvýšení hmotnosti LOP bude mít největší dopad právě na zavěšené kotvení.

## 2.2 Kotvící prvky LOP

Základní části LOP jsou obecně popsány na obrázku 1 v kapitole 1.1. Standardním a nejrozšířenějším systémem pro kotvení LOP jsou hliníkové nebo ocelové tzv. „H“ kotvy někdy nazývané také 3D kotvy. „H“ kotva obsahuje 3 druhy otvorů. V textu výše byly kotvy rozděleny na nosné a dilatační. Ve skutečnosti se jedná o jednu a tu samou kotvu. A o tom jestli se jedná o nosnou nebo dilatační kotvu, rozhoduje jaký je použit otvor pro kotvení sloupku. Pokud je použit vodorovný oválný otvor, je zamezeno pohybu ve svislém směru a jedná se tedy o nosnou kotvu. Jelikož je vodorovný otvor oválný a mohlo by docházet k vodorovnému posunu

svorníkového šroubu, opatřeného chráničkou, v rámci délky otvoru, jsou stěny kotvy a stěny podložek přiléhající na stěny kotvy profilované svislými drážkami. Drážky se do sebe zaklesnou a zabraňují vodorovnému posunu. Použije-li se pro kotvení sloupku svislý oválný otvor, dovolující pohyb ve svislém směru, potom se jedná o dilatační kotvu. Drážky jsou ve směru dilatace a nebrání svislému posunu. Vše je názorně popsáno na obrázku 12.

Obrázek 12 "H" kotva



Kotva obsahuje ještě 1 druh otvorů. Jedná se o dva otvory na zadní straně, tyto otvory slouží pro protažení závitových tyčí a zakotvení k nosné konstrukci. Závitová tyč je opatřena podložkou a matkou. Závitová tyč drží v nosné konstrukci pomocí chemické malty, která vyplňuje prostor otvoru v nosné konstrukci a závitovou tyč tzv. přilepí.

### 2.2.1 „H“ Kotva

Kotva zajišťující upevnění sloupku LOP a přenášející zatížení přes kotvicí prvky do nosné konstrukce stavby se nazývá „H“ kotva. Název je zřejmě odvozen z tvaru připomínající písmeno H. V katalogích je tato kotva vedena pod katalogovým číslem a nemá přesně

specifikovaný název. Nejčastějším materiálem pro výrobu těchto kotev je hliníková slitina skupiny 6000, jde o slitinu hliníku, hořčíku a křemíku (AlMgSi). Do slitiny v menším podílu vstupují také prvky železo, měď, mangan, chrom, zinek, titan a jiné. Alternativou hliníkové kotvy je kotva ocelová, u této kotvy musí dojít k povrchové úpravě a chránit tak materiál před korozi.

Pro experimentální zkoušky byla použita hliníková kotva z hliníkové slitiny EN AW-6061.

### **2.2.2 Závitová tyč**

Pokud statický posudek, který v 99 % případů není součástí projektu, nepředepisuje konkrétně druh závitové tyče, používají v dřtivé většině všechny realizační firmy pozinkovanou závitovou tyč jakostní třídy 5.8 dle DIN 975. V kombinaci s hliníkovou „H“ kotvou je možné použít závitovou tyč o maximálním průměru 12 mm.

Pro experimentální zkoušky byla použita pozinkovaná závitová tyč o průměru 12 mm ZN 5.8 M12.

### **2.2.3 Chemická malta**

Pokud je ke kotvení použita pouze závitová tyč, je jediným možným způsobem zakotvení tyče do nosné konstrukce použití chemické malty. Jedná se vinylesterovou chemickou hmotu bez obsahu styrénu. Kartuš standardně obsahuje dvě oddělené komory, ve kterých jsou samostatně uloženy malta a tvrdící přísada. Po vytlačení z kartuše přes kuželovitý směšovač dojde k aktivaci chemické reakce a tím započne proces tuhnutí a tvrdnutí. Tento proces je velice rychlý. Proto je nutné, zhruba do 3 minut po aplikaci chemické malty, osadit otvor závitovou tyčí. Dle výrobce chemické malty se doba tvrdnutí do zatěžovací pevnosti liší a je vždy uvedena v technickém listu výrobku. Obecně platí čím vyšší teplota tím kratší doba tuhnutí. Kotvení provedené tímto typem chemické malty lze použít do běžných podmínek stavby. Kotvy nesmí být kotveny pod hladinou vody, nesmí být vystaveny teplotám pod  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nad  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Chemická malta je vhodná pro kotvení do betonu třídy C20/25 – C50/60, do keramických cihel s dutinkami, do plynosilikátu, lehčený beton.

Pro experimentální zkoušky byla použita chemická malta Fischer FIS VT 380 C.

## **2.3 Materiál nosné konstrukce pro kotvení**

Dnešní doba nabízí nepřeberné množství stavebních materiálů pro nosné konstrukce budov. Mezi nejzákladnější materiály patří beton, kov, dřevo, keramika a plynosilikát. V praxi se při realizaci LOP setkáme nejčastěji s konstrukcemi, jejichž nosný element tvoří beton, keramika,

plynosilikát a také kov, ovšem téma diplomové práce se nezabývá kotvením LOP ke kovovým konstrukcím. U všech materiálu je předpoklad, že jsou bez trhlin a mechanického porušení ovlivňující integritu materiálu.

### **2.3.1 Beton**

Z hlediska kotvení LOP je beton nebo železobeton nejběžnějším materiálem pro nosné konstrukce. Norma ČSN EN 206 definuje beton jako materiál složený ze základních složek, kterými jsou kamenivo, cement a voda. Dalšími možnými složkami betonu jsou přísady, příměsi a vlákna ovlivňující vlastnosti výsledného betonu. Beton získává své vlastnosti hydratací cementu [7]. Pro beton je charakteristická vysoká pevnost v tlaku a odolnost proti vnějším vlivům, tyto vlastnosti závisí na složení betonu. Pevnostní třídu betonu lze ověřit zkouškou pevnosti v tlaku, která se provádí na zkušebních tělesech, které mají tvar krychle (délka hrany 150x150x150 mm) nebo válce (průměru 150 mm a výšce 300 mm) a stárí 28 dnů. Zkušební těleso se stlačuje lisem do porušení a zaznamená se maximální síla k tomu potřebná [8]. Náležitosti zkoušky jsou uvedeny v normě ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Na stavbách se vyskytuje ve formě monolitických konstrukcí nebo prefabrikovaných stavebních dílců.

Pro experimentální zkoušky byl použit blok prostého betonu pevnostní třídy 30/35.

### **2.3.2 Keramické tvárnice**

Keramika je velmi starý materiál používaný již 12 tisíc let. V dnešní době, v případě zdících tvárnic se používá cihlářská keramika, jde o materiál z cihlářských jíílů a hlín doplnění o ostřiva (např. křemičitý písek), taviva (např. živce) a lehčiva (např. dřevěné piliny). Výpalem takovéto směsi dostaneme finální podobu keramické tvárnice, která má charakteristický pórovitý střep a červenou barvu. Červenou barvu získá střep přítomností oxidů železa. Keramické dutinové tvárnice dosahují pevnosti v tlaku cca od 4 do 15 N/mm<sup>2</sup>.

Pro experimentální zkoušky byly použity keramické tvárnice značky Porotherm ve variantě 30 P+D P10 s pevností v tlaku 10 N/mm<sup>2</sup>.

### **2.3.3 Plynosilikát**

Je stavební materiál pro, který je charakteristická nízká objemová hmotnost do 2000 kg/m<sup>3</sup>, pórovitost a bílá barva. Tento materiál je směsí vápna, křemičitého písku vody a provzdušňovačů, kterým je zpravidla hliníkový prášek. Na stavby se dodává ve formě

stavebního bloku v několika rozměrových variacích pro určitá použití. Plynosilikát dosahuje pevnosti v tlaku cca od 2,0 do 6,5 N/mm<sup>2</sup>.

Pro experimentální zkoušky byly použity plynosilikátové bloky značky Ytong ve variantě P2-400 s pevností v tlaku 2,6 N/mm<sup>2</sup>.

## 2.4 Zatížení kotevního systému LOP

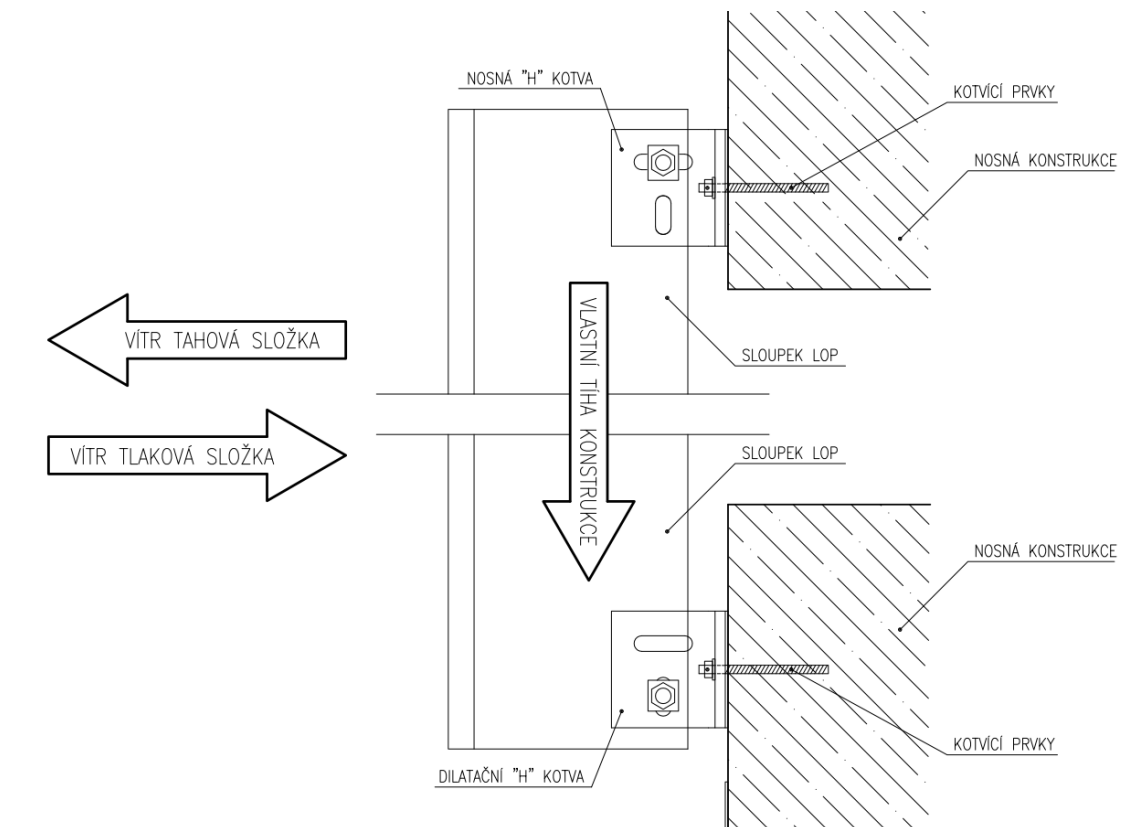
Kotvící prvky LOP zajišťují přenos zatížení do nosné konstrukce budovy. Síla působící na nosnou konstrukci v místě kotvení je souborem několika silových složek. Tento soubor se skládá z tíhy samotného LOP, klimatických vlivů a mimořádných vlivů. Jak bylo již rozebíráno, LOP tvoří sloupky, příčky, zasklívací panely, kotevní prvky a popřípadě různé příslušenství jako jsou například reklamní bannery, osvětlení a podobné konstrukce. Z klimatických vlivů je nejvýznamnější vítr, jeho tlakové a tahové zatížení ploch LOP. Mezi mimořádné zatížení se považují výbuchy, nárazy aut, zemětřesení atd., je ovšem nutné si uvědomit, že vzhledem ke své konstrukční povaze nejsou LOP konstruovány, aby odolávaly mimořádným zatížením, jako jsou nárazy aut a výbuchy. Pravděpodobně lze kotvící prvky přizpůsobit pro oblasti s možným výskytem zemětřesení, a měl by uplatnění například v poddolovaných oblastech, kde hrozí otřesy.

Působení zatížení na konstrukci LOP je popsáno na obrázku 13. Jelikož je sloupek kotven svorníkovým šroubem s chráničkou okolo, které se může sloupek otáčet, je toto spojení kloubové a v tomto místě nevzniká ohybový moment. Na kotvící prvky působí svislá síla  $F$  od vlastní tíhy konstrukce LOP. Působíště síly  $F$  je excentrické od osy otáčení  $O$  a důsledkem toho vzniká v místě kotvení ohybový moment  $M$ . Pro výpočet únosnosti kotvících prvků, v tomto případě závitové tyče kotvené pomocí chemické malty do nosné konstrukce, se musí přesně specifikovat síly působící na závitovou tyč. Ohybový moment působící v místě kotvení se odvodí ze síly  $F$  působící na excentrickém rameni  $e$ . Svislé síly  $F_s$  se odvodí posunutím síly  $F$  do místa styku „H“ kotvy s nosnou konstrukcí a rozdělením její velikosti dle počtu kotvících bodů. Vodorovné síly  $F_t$  se odvodí ze známého, vypočteného ohybové momentu  $M$ , rozložením na neznámou sílu  $F_t$  a známé rameno  $r$ , a síla  $F_t$  se rozdělí dle počtu kotvících bodů. Schéma rozkladu sil je znázorněno na obrázku 14. Při určování zatížení na kotvící prvky je nutné zohlednit zatížení větrem dle normy ČSN EN 1991-1-4 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. A o zatížení vyvozeném účinky větru upravit síly  $F_t$ ,  $F_s$  a ohybový moment  $M$ .

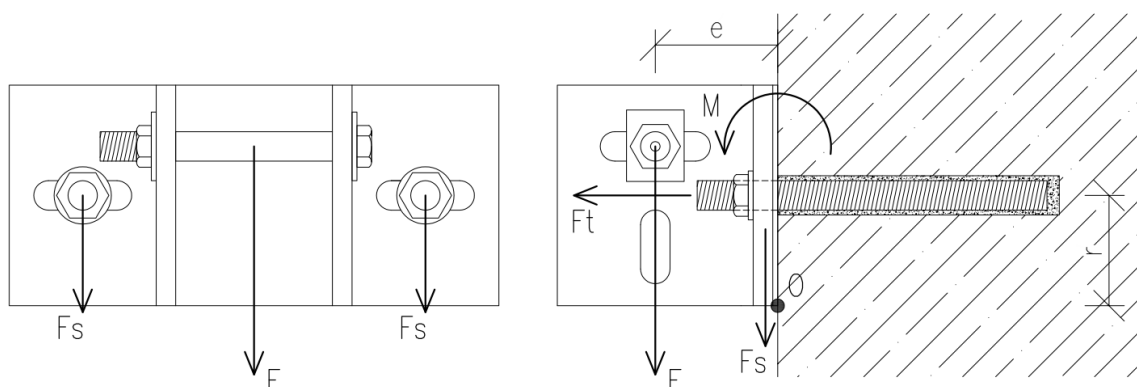


Po vyšetření zatížení na kotvící prvky, lze přistoupit k výpočtu únosnosti kotvení. K těmto účelům je ideální použít software výrobce systému kotevní techniky.

**Obrázek 13** působení zatížení na LOP



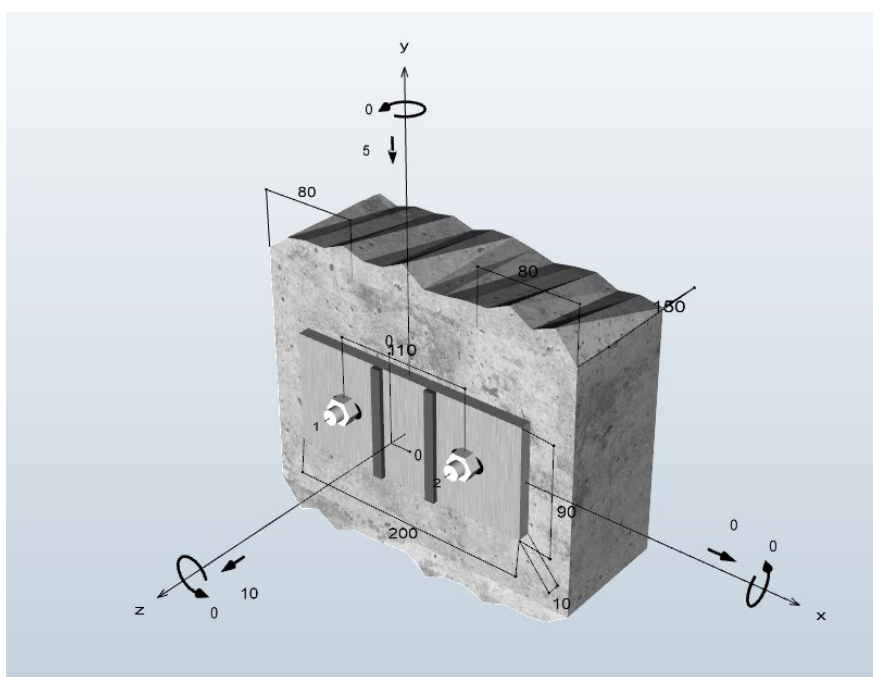
**Obrázek 14** působení zatížení na kotvící prvky LOP



## 2.5 Návrh únosnosti kotev

Při návrhu kotevních prvků má statik několik možností. Využít empirie, návrh dle tabulek s deklarovanými hodnoty pro určitý typ zatížení, vymodelováním a nadefinováním parametrů kotvení ve statickém programu nebo využití softwaru vyvinutým přímo výrobcem kotvicích prvků. Jako příklad lze uvést software FIXPERIENCE pro návrh kotvicích prvků vyvinutý firmou Fischerwerke GmbH & Co. KG. Na obrázku 15 je zobrazen náhled tvorby modelu v tomto softwaru. Výstupem je protokol návrhu kotvicích prvků, tento dokument je přiložen jako příloha č.1.

*Obrázek 15 příklad návrhu kotev v softwaru FIXPERIENCE*



## 2.6 Ověřování únosnosti kotevních prvků

Vypočtené únosnosti kotvicích prvků lze ověřit zkouškami v laboratorním prostředí nebo in-situ. Princip zkoušek musí odpovídat řídicím pokynům pro evropská technická schválení – ETAG, viz kapitola 1.3.4.

## 3. Vady a poruchy kotvicích prvků při realizaci lehkých obvodových plášťů

U každé konstrukce, která je namáhána účinky zatížení, hrozí porucha. Takovou konstrukcí kotvicí prvky LOP jsou. Příčin vzniku poruch je hned několik a úzce spolu souvisí. Poruchy

mohou být zapříčiněny technologickou nekází při montáži, přetížením nebo mimořádnými situacemi jako jsou povodně, požár, zemětřesení atd. Pro zamezení vzniku poruch je nutné provedení kotvení dle statického návrhu a technologického postupu montáže. Pokud je toto splněno poruchy nenastanou a konstrukce je bezpečná.

### **3.1 Montážní postup kotvení**

Montážní postup kotvení se liší dle materiálu nosné konstrukce, do které je kotveno. Detailně jsou tyto postupy popsány v katalogích výrobce a jsou také součástí schválení ETA. Montážní postupy kotvení do materiálů, kterými se zabývá tato práce, jsou uvedeny v kapitolách 4.3-5.

Obecný postup kotvení je následující. Průměr a hloubka otvoru v nosné konstrukci je odvozena z průměru závitové tyče a jejího příslušenství (např. sítko pro dutinové tvárnice). Tyto parametry jsou uvedeny v katalogích a schválení ETA. Důležitým bodem montáže je čištění otvoru po vyvrtání. Otvor nesmí obsahovat žádné volné prvky, které zůstanou v otvoru důsledkem vrtání nebo se do něj dostanou jiným způsobem. Za tímto účelem, je nutné otvor vyfoukat, vykartáčovat nebo vysát. Do takto připraveného otvoru je možné aplikovat chemickou maltu. Proces tuhnutí a tvrdnutí chemické malty je velice rychlý. Po aplikaci malty je nutné co nejdříve osadit závitovou tyč, a to nejpozději do 3 minut. Závitovou tyč vkládáme do otvoru vyplněného chemickou maltu, tak že jí otáčíme kolem její středové osy a lehce zasouváme do otvoru. Tím se zamezí vytlačení malty z otvoru a vzniku vzduchových mezer. Při následné instalaci „H“ kotvy musí být dodržen utahovací krouticí moment matky, který se také liší podle druhu materiálu nosné konstrukce.

### **3.2 Vady a poruchy způsobené technologickou nekází při montáži**

Vady způsobené nesprávnou montáží, nebo nedodržení montážního postupu se většinou projeví až při zatížení kotevních prvků, ale v extrémních případech nesprávné montáže se vady projeví ihned. Poruchy této kategorie vychází z chyb montážních dělníků.

#### **3.2.1 Pozice otvoru vzhledem k hranám nebo dalšímu otvoru**

Velké riziko selhání vzniku poruchy je umístění otvoru v nedostatečné vzdálenosti od hran nosné konstrukce nebo bloku. Pro různé materiály a bloky jsou ve schválení ETA uvedeny minimální odstupy od hran nebo dalších otvorů v nosné konstrukci. Nedodržením těchto rozměrů může nastat uštípnutí kusu materiálu a tím dojde k uvolnění kotvícího prvku.

### **3.2.2 Nečistoty v otvoru**

Nejběžnější chybou při montáži způsobující možné poruchy je nedostatečné vyčištění otvoru před aplikací chemické malty. Prach a úlomky vytvoří mezi chemickou maltou a stěnami otvoru separační vrstvu a přídržnost v těchto místech je radikálně snížena nebo je nulová. To má za následek snížení únosnosti kotevního prvku především v tahu.

### **3.2.3 Podmínky při aplikaci chemické malty**

Při používání chemické malty se musí dodržet rozsah teplot, při kterých je možné maltu aplikovat. Chemické malty lze běžně aplikovat při teplotách podkladu nosné konstrukce od 0 °C do +40 °C za podmínek že minimální teplota kartuše je +5 °C a maximální teplota kartuše je +40 °C. U chemické malty použité pro experimentální zkoušky FIS VT 380 C je možné aplikaci provádět při teplotě podkladu nosné konstrukce až při -5 °C a teplotě kartuše +5 °C [9]. Nedodržení teplotních rozsahů při aplikaci malty výrazným způsobem ovlivní chemický proces tuhnutí a tvrdnutí a výsledné vlastnosti ztvrdlé malty. Tím se sníží pevnost a kotvící prvky nebudou vykazovat potřebnou únosnost pro dané zatížení.

### **3.2.4 Množství chemické malty v otvoru**

Při aplikaci malty je nutné zaplnit otvor tak, aby se objem malty v otvoru rovnal nebo byl větší než rozdíl objemu otvoru a objemu zapuštěné části závitové tyče. Tato činnost vychází z praxe a dá se odvodit ze stupnice na kartuši. V případě, že v otvoru bude nedostatek malty, nedojde k vyplnění prostoru mezi závitovou tyčí a stěnou otvoru, vzniknou vzduchové mezery a sníží se tím únosnost kotevních prvků.

### **3.2.5 Způsob montáže závitové tyče**

Závitová tyč se musí do otvoru s chemickou maltou nasouvat pomalým pohybem a zároveň se musí se závitovou tyčí otáčet kolem její střednicové osy. Tímto způsobem zajistíme dokonalé vyplnění prostoru mezi závitovou tyčí a stěnami otvoru. V případě, že k takovému postupu nedojde a závitová tyč bude pouze zatlačena do otvoru, vzniknou vzduchové mezery. Tento jev je doprovázený praskavým zvukem při zatlačování závitové tyče. Díky vzduchovým mezerám nedojde k vyplnění prostoru mezi závitovou tyčí a stěnami otvoru a sníží se tím únosnost kotevních prvků.

### **3.2.6 Nedodržení doby zpracování chemické malty**

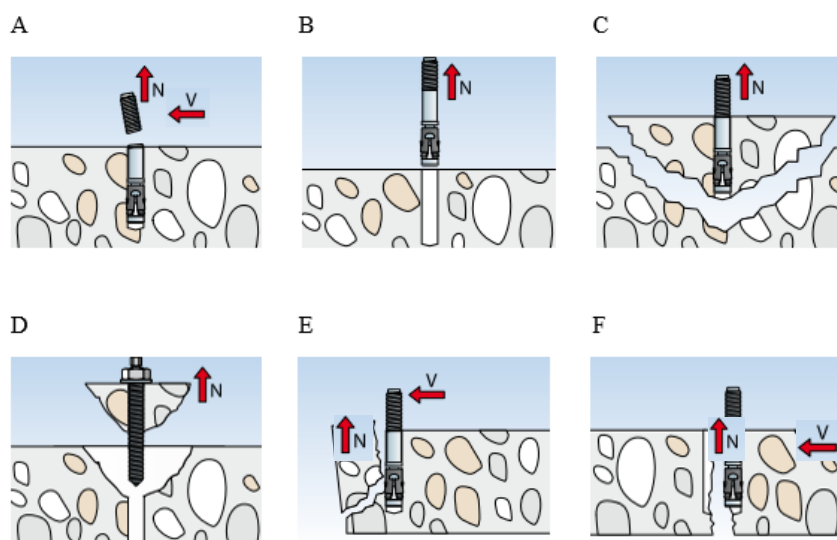
Aktivace chemické reakce zajišťující proces tuhnutí a tvrdnutí započne ve chvíli smísení malty a tvrdící přísady průchodem směšovačem. Od té doby se počítá doba zpracovatelnosti. Tato

doba je uvedena v katalogích výrobce a ve schválení ETA. Proces tuhnutí a tvrdnutí chemické malty je velice rychlý, při standartních teplotních podmínkách okolo 20°C se pohybuje doba zpracovatelnosti okolo 5 minut [9][10][11]. Z praxe jsou doporučeny 3 minuty. Doba zpracovatelnosti je závislá na teplotě malty. Při překročení doby zpracovatelnosti malty již není možné provést montáž závitové tyče. Otvor musí být znovu vyvrtán, čímž se odstraní ztvrdlá chemická malta a aplikace se musí opakovat.

### 3.3 Vady a poruchy způsobené přetížením kotevních prvků

Při přetížení kotevních prvků může nastat několik situací dle druhu zatížení a použitých materiálů. Při překročení pevnosti oceli může nastat stav, kdy dojde k selhání oceli vlivem tahových nebo smykových sil. Tahová síla může také způsobit selhání přitmělení, v tomto případě dojde k vytržení kotevního prvku. Pokud je pevnost přitmělení větší než pevnost materiálu, do kterého je kotveno dojde k selhání materiálu nosné konstrukce. Je-li pevnost přitmělení a pevnost materiálu, do kterého je kotveno zhruba stejná může dojít jak selhání materiálu nosné konstrukce, tak selhání přitmělení. Při kotvení k okraji bloku nebo nosné konstrukce může vlivem tahové, smykové síly nebo kombinace obou dojít k selhání materiálu nosné konstrukce například uštípnutím okraje. Častou poruchou hlavně u dutinových cihel je popraskání a rozlomení bloku vlivem tahové, silové síly nebo kombinaci obou. Typy porušení jsou uvedeny na obrázku 16.

*Obrázek 16 poruchy při přetížení*



*A – selhání oceli, B – selhání přitmělení, C – selhání materiálu nosné konstrukce, D – selhání materiálu nosné konstrukce a přitmělení, E – odštípnutí okraje, F – rozlomení*

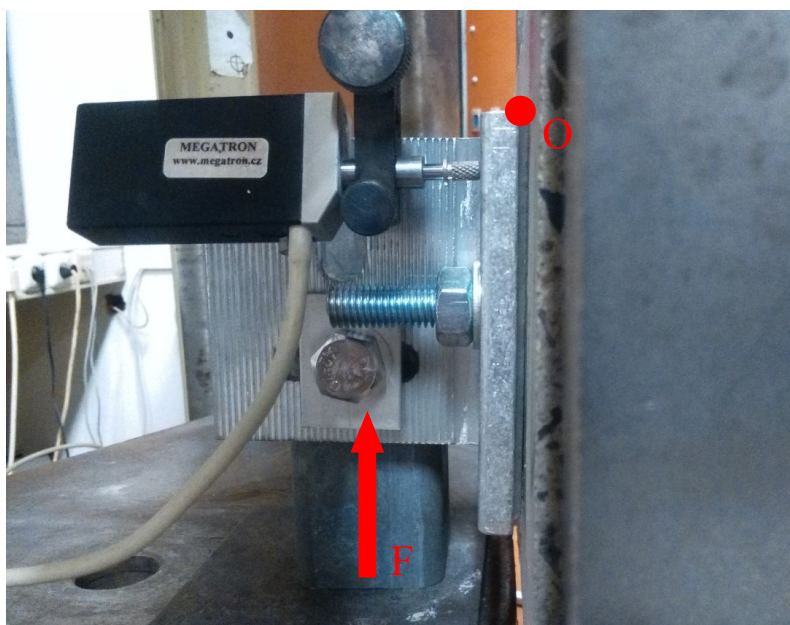
### 3.4 Vady a poruchy způsobené jinými faktory

V ojedinělých případech mohou na kotvící prvky působit i jiné vlivy než zatížení vzniklé vlastní tíhou LOP nebo tlakovými a tahovými účinky větru. Faktory ovlivňující funkčnost kotevních prvků výrazným způsobem ovlivní jejich únosnost. Mezi takové faktory patří například působením vysoké teploty v případě požáru. U chemické malty a kotvících prvků se v katalozích uvádí jejich požární odolnost podle normy ČSN 73 0810. Požární odolnost kotvících prvků je nutné zohlednit při návrhu. Další ojedinělou situací je zaplavení nebo vystavení kotvících prvků a oblasti kolem nich tekoucí vodě nebo chemickým tekutinám. Takovéto působení může rozrušovat materiál nosné konstrukce, chemickou maltu nebo závitovou tyč. Tím může dojít k selhání únosnosti. V dalších případech jako jsou výbuchy, nárazy například dopravních prostředků nebo zemětřesení jsou poruchy zřejmé a destruktivní.

### 3.5 Vady a poruchy – beton a vliv „H“ kotvy

Beton je z výčtu materiálů tvořící nosnou konstrukci pro kotvení nejpevnější a tím pádem i nejodolnějším materiálem z pohledu poruch. Poruchy kotevních prvků (závitová tyč + chemická malta) jsou popsány v kapitole 3.3, a graficky znázorněny na obrázku 16. V případě LOP doplňuje kotvící prvky „H“ kotva. Vzhledem k působení zatěžovací síly  $F$ , viz obrázek 14 v kapitole 2.4, dochází k otáčení „H“ kotvy kolem osy  $O$ , v tomto místě vzniká otláčení materiálu. Beton je charakteristický odolností v tlaku, a tedy deformace v místě opření „H“ kotvy je minimální.

*Obrázek 17 kotvící soustava - beton*



*Obrázek 18 otlačení betonu*



*Obrázek 19 otlačení betonu*



Vzhledem k pevnosti betonu v tlaku je otlačení minimální a tato deformace by nebyla příčinou poruchy. Otlačení na obrázcích 18-19 vzniklé při zatěžovací síle  $F = 19,5 \text{ kN}$ .

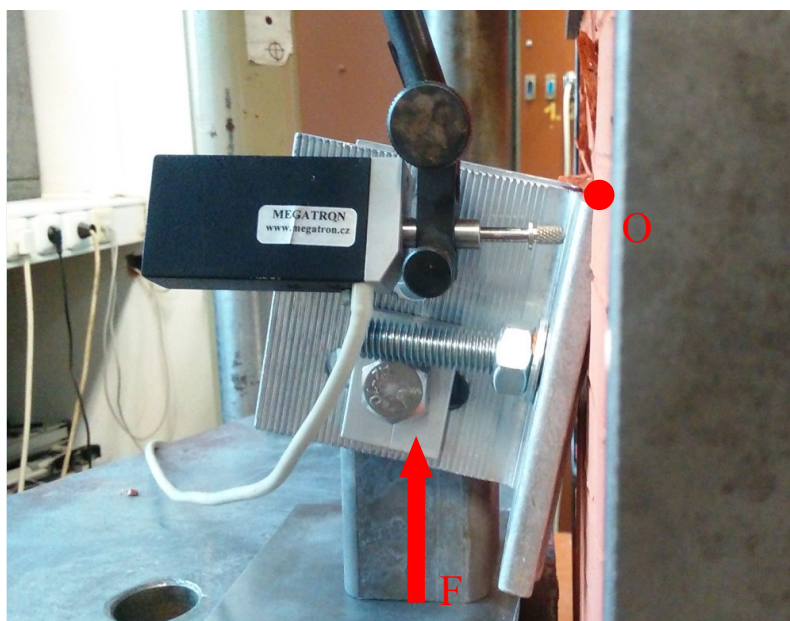
### **3.6 Vady a poruchy – keramika a vliv „H“ kotvy**

Nejčastějším typem keramických tvárnic používaných pro nosné zdivo jsou dutinové tvárnice značky Porotherm nebo Heluz. V tomto případě byla deformace sledována na tvárnici Porotherm 30 P+D, pro další typy a značky by byly výsledky obdobné. Pro kotvicí prvky (závitová tyč + plastové sítko + chemická malta) platí obecně poruchy popsané v kapitole 3.3.



Při velkém tahovém zatížení může dojít k porušení plastového sítka. Následkem zatížení dojde k tvorbě prasklin a při velmi vysokém zatížení k vytržení kotvících prvků s částí tvárnice. Vzhledem k povaze keramického materiálu je dutinová tvárnice velice křehká. Působením hrany „H“ kotvy v ose otáčení dojde k prolomení stěn a vzniku trhlin. Tyto trhliny podporují trhliny vzniklé tahovými smykovými silami působící na závitovou tyč. Na obrázcích 20-22 je vidět deformace, prolomení stěn a trhliny způsobené zatěžovací silou  $F$  a tlakem „H“ kotvy v ose otáčení  $O$ . Tato deformace vede ke ztrátě únosnosti kotvících prvků a následné poruše.

*Obrázek 20 kotvící soustava - keramika*



*Obrázek 21 otlačení keramické tvárnice*





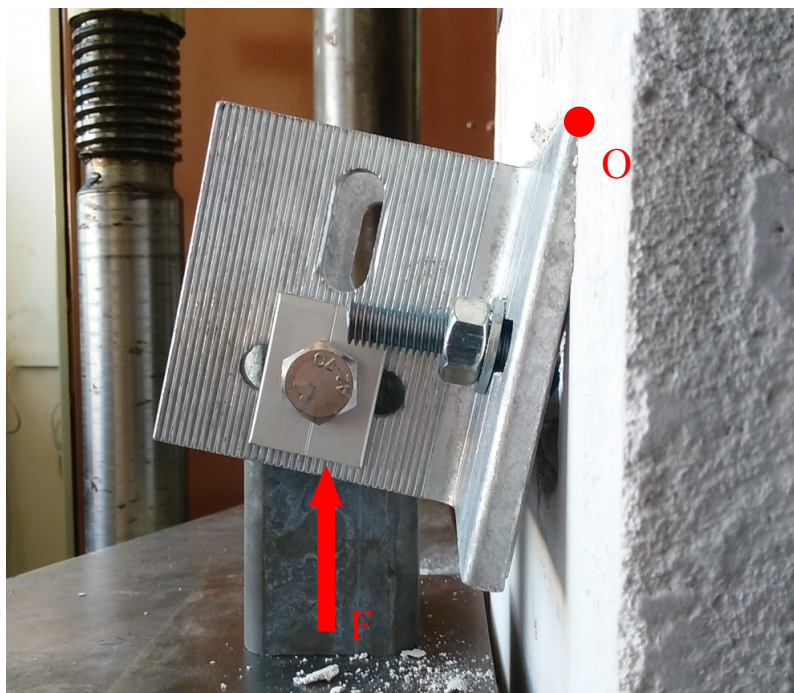
*Obrázek 22 otláčení keramické tvárnice*



### **3.7 Vady a poruchy – plynosilikát a vliv „H“ kotvy**

Plynosilikát vzhledem ke své pórovité struktuře a nízké pevnosti v tlaku vyžaduje speciální kotevní otvor ve tvaru kužele. Obecně platí poruchy popsané v kapitole 3.3. S rozdílem, že díky kuželovitému tvaru otvoru zde nedochází k selhání přitmělení a kužel vytrženého materiálu při selhání materiálu nosné konstrukce má větší poloměr. Vychází to z geometrie kužele a šíření napětí v bloku plynosilikátu. „H“ kotva vlivem zatěžovací síly  $F$  otláčuje v místě osy otáčení  $O$  stěnu bloku plynosilikátu, a zatlačuje se do jeho povrchu. Tento jev je doprovázený páčením a vytahováním závitové tyče a kužele chemické malty. Tlak hrany kotvy na stěnu plynosilikátového bloku, tahové a smykové zatížení kotvicích prvků způsobí vznik trhlin a ztrátu únosnosti kotvení. Na obrázcích 23-25 jsou vidět účinky zatížení. Jasně otláčení a rozlomení bloku plynosilikátu.

*Obrázek 23 kotevní soustava - plynosilikát*



*Obrázek 24 otláčení plynosilikátu*



*Obrázek 25 porucha plynosilikátu*



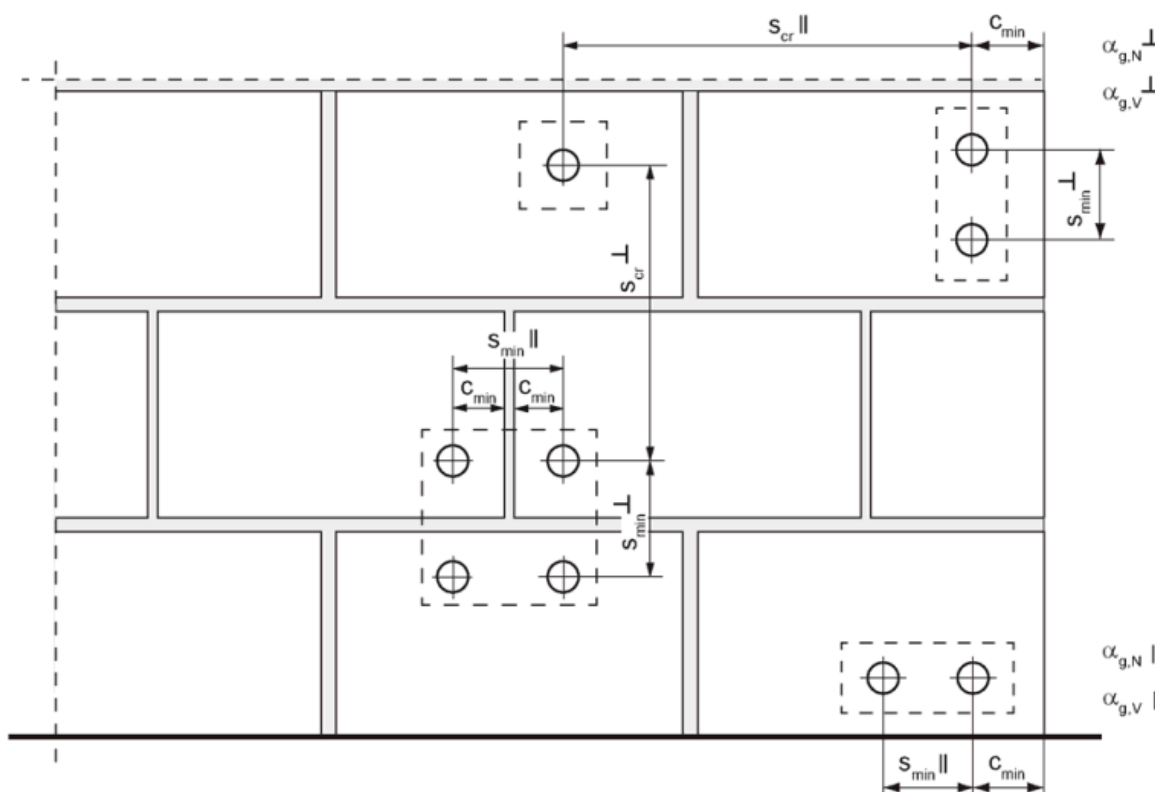
#### **4. Příprava experimentálního měření**

Diplomová práce se zabývá experimentálními zkouškami kotevních prvků LOP snažící se simulovat reálné zatížení silou  $F$ , viz kapitola 2.4, jako při zabudování konstrukce do stavby – horní nosná kotva. Dále byly provedeny doplňkové tahové zkoušky pro ověření únosnosti kotevních prvků při zatížení pouze tahem.

##### **4.1 Aplikace evropské směrnice ETAG a schválení ETA**

Experimentální zkoušky vychází z evropských směrnic ETAG 001 a 029 a evropských schválení ETA-08/0061, ETA-10/0383, ETA-12/0180. Princip zkoušek v tahu a smyku je uveden v kapitole 1.3.4. Požadavky na kotvení do nosné konstrukce jsou provedeny podle evropských schválení ETA pro kotevící prvky do betonu a zdiva. Podrobněji popsáno v kapitolách 4.3-5. Na obrázku 26 jsou uvedeny kritéria pro pozice kotevních bodů vzhledem k hranám bloků a dalším otvorům [10]. Pod obrázkem jsou uvedeny parametry, která se přímo týkají kotevních prvků v kombinaci s „H“ kotvou pro LOP. Značení parametrů je pro všechny materiály a bloky stejné, mění se dle materiálu nebo provedení bloku jejich hodnoty.

Obrázek 26 pozice kotevních prvků



$s_{min||}$  - vzdálenost mezi kotvicími body,  $c_{min}$  – vzdálenost od hran bloků

## 4.2 Popis zkušebního zařízení pro experimentální měření

Pro experimentální zkoušky bylo využito vybavení laboratoře stavebních hmot na stavební fakultě VŠB TU Ostrava. Byl použit kalibrovaný hydraulický lis se záznamem zatěžovací síly a velikosti posunu. Pro možnost simulovat zatížení působící na kotevní prvky LOP při reálném zabudování do stavby muselo být zkonstruován přípravek pro upínání bloků. Tento přípravek se skládá z ocelové upínací krabice pro umístění bloků a nosného skeletu z ocelových I profilů, obrázky 27-31. Přípravek byl ukotven do podlahy laboratoře tak, aby „H“ kotva zasahovala nad plochu lisu, ale nedošlo ke kontaktu lisu a ocelové upínací krabice.

Upínací krabice je složena ze čtyř plátů oceli o tloušťce 10 mm, svařených k sobě, tři bočnic a jedné podstavy, zbylé strany jsou volné. Horní víko, plát oceli o tloušťce 10 mm, je samostatné a má menší rozměry než jsou vnitřní rozměry krabice. Víko obsahuje 6 otvorů průměru 16 mm tak, aby jimi prošla závitová tyč průměru 14 mm, tato tyč projde i přes plát tvořící podstavu krabice. Tímto dojde k možnosti upnutí bloku.

**Obrázek 27** přípravek pro upnutí bloků - 3D návrh

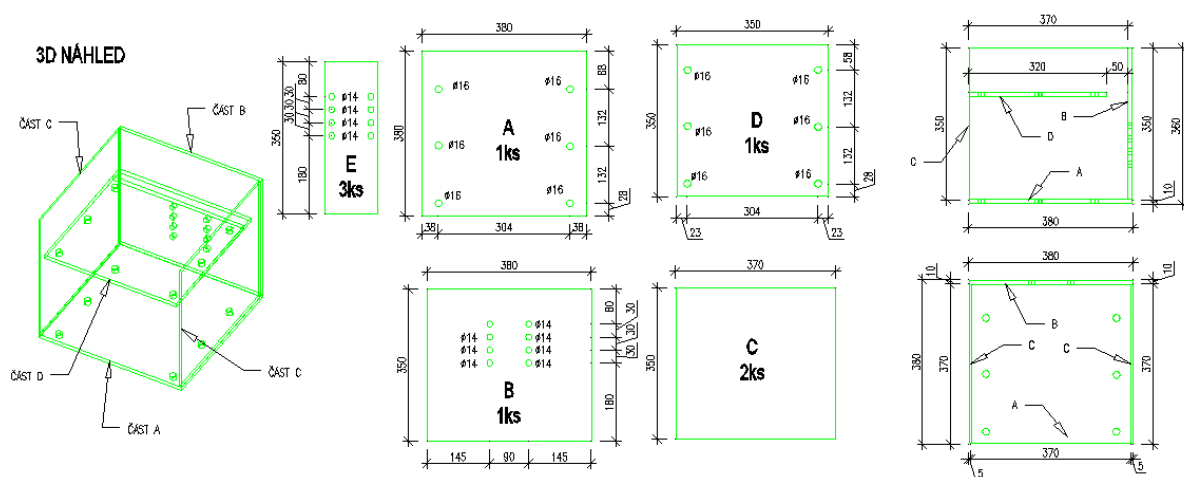


**Obrázek 28** *přípravek pro upínání bloků - boční pohled*





**Obrázek 29** výrobní dokumentace upínací krabice



**Obrázek 30** upínací přípravek



*Obrázek 31 upínací krabice s blokem*



Na obrázku 32 je vidět umístění pohybových čidel. Čidlo na hraně víka zaznamenává deformaci upínacího přípravku, tyto data slouží ke korekci dráhy lisu a skutečnému posunu „H“ kotvy. Čidlo na hraně „H“ kotvy, v místě osy otáčení, dokumentuje míru zatlačení „H“ kotvy do bloku materiálu.

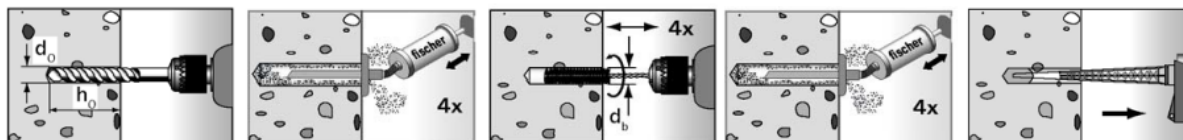
*Obrázek 32 umístění čidel*



### 4.3 Kotevní sestava pro kotvení do betonu

Kotvení do betonu bylo provedeno dle evropského schválení ETA-08/0061 vydané pro kotvící prvky Fischer – závitová tyč + chemická malta FIS VT 380 C. Pro experimentální zkoušky byla použita pozinkovaná závitová tyč M12 5.8, chemická malta FIS VT 380 C, blok betonu 280x150x150 mm, třídy C30/35, „H“ kotva rozteč kotvení 110 mm.

Obrázek 33 postup kotvení - beton



Na obrázku 33 je graficky popsán postup kotvení [9]. Po vyvrtání otvoru o daném průměru a hloubce musí dojít k vyčištění otvoru vyfoukáním, vykartáčováním a znovu vyfoukáním otvoru, tento proces čištění se opakuje 4x. Poté je možno aplikovat chemickou maltu. Následně dojde k montáži závitové tyče zatlačováním do otvoru za stálého otáčení kolem její střednicové osy. Po zatvrdnutí chemické malty, doba tvrdnutí je uvedena na kartuši a je závislá na teplotě podkladu a samotné kartuše. Po uplynutí této doby je možné osadit „H“ kotvu a utáhnout matice krouticím momentem uvedeným ve schválení ETA.

V tabulce 3, ve sloupci ETA, jsou uvedeny požadované parametry pro kotvící prvky do betonu podle evropského schválení ETA-08/0061, v sloupci REAL jsou uvedeny reálné hodnoty provedeného kotvení [9].

Tabulka 3 parametry kotvení - beton

FIS VT 380 C + závitová tyč M12		
Parametr	ETA	REAL
průměr závitové tyče [mm]	12	12
$d_0$ [mm]	14	14
$h_{ef,min}$ [mm]	96	100
$S_{min  }$ [mm]	55	110
$c_{min}$ [mm]	55	80/73
$h_{0,min}$ [mm]	$\geq 100$	110
$T_{inst,max}$ [Nm]	40	40

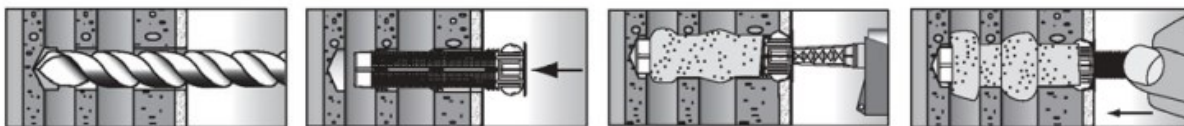


$d_0$  – průměr vrtaného otvoru,  $h_{ef,min}$  – minimální efektivní kotevní délka,  $S_{min}$  – vzdálenost mezi kotvami,  $c_{min}$  – vzdálenost od hran bloku,  $h_{0,min}$  – minimální kotevní délka otvoru,  $T_{inst,max}$  – maximální krouticí moment utažení matice

#### 4.4 Kotevní sestava pro kotvení do keramických bloků

Kotvení do keramických tvárnic bylo provedeno dle evropského schválení ETA-10/0383 vydané pro kotvicí prvky Fischer – závitová tyč + plastové sítko + chemická malta FIS VT 380 C. Pro experimentální zkoušky byla použita pozinkovaná závitová tyč M12 5.8, plastové sítko délky 130 mm, chemická malta FIS VT 380 C, keramická tvárnice Porothersm 30 P+D, pevnostní třídy P10, „H“ kotva rozteč kotvení 110 mm.

Obrázek 34 postup kotvení - keramika - dutinové tvárnice



Na obrázku 34 je graficky popsán postup kotvení [10][11]. Po vyvrtání otvoru o daném průměru a hloubce musí dojít k vyčištění otvoru vyfoukáním, vykartáčováním a znovu vyfoukáním otvoru, tento proces čištění se opakuje 4x. Do otvoru se vloží perforované plastové sítko, v tomto případě délky 130 mm. Poté je možno aplikovat chemickou maltu. Následně dojde k montáži závitové tyče zatlačováním do otvoru za stálého otáčení kolem její střednicové osy. Po zatvrdnutí chemické malty, doba tvrdnutí je uvedena na kartuši a je závislá na teplotě podkladu a samotné kartuše. Po uplynutí této doby je možné osadit „H“ kotvu a utáhnout matice krouticím momentem uvedeným ve schválení ETA.

V tabulce 4, ve sloupci ETA, jsou uvedeny požadované parametry pro kotvicí prvky do betonu podle evropského schválení ETA-10/0383, v sloupci REAL jsou uvedeny reálné hodnoty provedeného kotvení [10][11].

Tabulka 4 parametry kotvení - keramická dutinová tvárnice

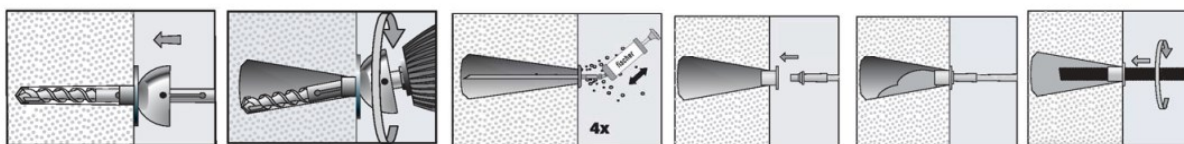
FIS VT 380 C + závitová tyč M12 + plastové perforované sítko		
Parametr	ETA	REAL
průměr závitové tyče [mm]	12	12
$d_0$ [mm]	16	16
$h_{ef,min}$ [mm]	130	130
$S_{min  }$ [mm]	255	110
$c_{min}$ [mm]	60	70/119
$h_{0,min}$ [mm]	130	130
$T_{inst,max}$ [Nm]	2	2

$d_0$  – průměr vrtaného otvoru,  $h_{ef,min}$  – minimální efektivní kotevní délka,  $S_{min||}$  - vzdálenost mezi kotvami,  $c_{min}$  – vzdálenost od hran bloku,  $h_{0,min}$  – minimální kotevní délka otvoru,  $T_{inst,max}$  – maximální krouticí moment utažení matice

#### 4.5 Kotevní sestava pro kotvení do plynosilikátových bloků

Kotvení do plynosilikátových bloků bylo provedeno dle evropského schválení ETA-10/0383 vydané pro kotvicí prvky Fischer – závitová tyč + středící plastová vložka + chemická malta FIS VT 380 C. Pro experimentální zkoušky byla použita pozinkovaná závitová tyč M12 5.8, plastová středící vložka, chemická malta FIS VT 380 C, plynosilikátový blok Ytong, pevnostní třídy P2, „H“ kotva rozteč kotvení 110 mm.

Obrázek 35 postup kotvení - plynosilikát



Na obrázku 35 je graficky popsán postup kotvení [10]. Pro vyvrtání otvoru se v případě plynosilikátu musí použít vrták PBB, kterým se v nosné konstrukci vytvoří kuželovitý otvor, poté se provede čištění otvoru čtyřnásobným vyfoukáním. Do otvoru se vloží středící plastová vložka a poté je možno aplikovat chemickou maltu. Následně dojde k montáži závitové tyče zatlačováním do otvoru za stálého otáčení kolem její střednicové osy. Po zatvrdnutí chemické malty, doba tvrdnutí je uvedena na kartuši a je závislá na teplotě podkladu a samotné kartuše.

Po uplynutí této doby je možné osadit „H“ kotvu a utáhnout matice krouticím momentem uvedeným ve schválení ETA.

V tabulce 5, ve sloupci ETA, jsou uvedeny požadované parametry pro kotvící prvky do betonu podle evropského schválení ETA-10/0383, v sloupci REAL jsou uvedeny reálné hodnoty provedeného kotvení [10].

*Tabulka 5 parametry kotvení - plynosilikát*

<b>FIS VT 380 C + závitová tyč M12 + středící plastová vložka</b>		
<b>Parametr</b>	<b>ETA</b>	<b>REAL</b>
průměr závitové tyče [mm]	12	12
$d_0$ [mm]	PBB 95	PBB 95
$h_{ef,min}$ [mm]	150	95
$S_{min  }$ [mm]	300	110
$c_{min}$ [mm]	60	100/150
$h_{0,min}$ [mm]	95	95
$T_{inst,max}$ [Nm]	2	2

$d_0$  – průměr vrtaného otvoru,  $h_{ef,min}$  – minimální efektivní kotevní délka,  $S_{min||}$  - vzdálenost mezi kotvami,  $c_{min}$  – vzdálenost od hran bloku,  $h_{0,min}$  – minimální kotevní délka otvoru,  $T_{inst,max}$  – maximální krouticí moment utažení matice

## 5. Výsledky provedených experimentů

Experimentální zkoušky únosnosti kotevních prvků byli prováděny v laboratorních podmínkách za stálé teploty pohybující se od 23 °C do 28 °C a vlhkosti vzduchu pohybující se kolem hodnoty 48 %. Jak již bylo uvedeno, na zkušebních vzorcích byly provedeny experimentální zkoušky kotevních prvků s „H“ kotvou pro kotvení LOP. Zkoušky jsou zaměřeny na nosné kotvy LOP. Bylo simulován reálný způsob zatěžování kotevních prvků LOP jako při zabudování do stavby. Doplnkově byly provedeny výtažné zkoušky, kdy byly kotvící prvky zatěžovány pouze tahovou silou. Četnost zkoušek je uvedena v tabulkách 6 a 7. Byly zkoušeny 3 sady (beton, keramika, plynosilikát). Vzorky byli zatěžováni silou  $F$ , viz obrázek 14 v kapitole 2.4, až do selhání kotvících prvků. V případě betonu k tomuto selhání nedošlo a zkouška byla z důvodu bezpečnosti zastavena zhruba při zatížení  $F=20,0$  kN. U výtažných zkoušek nebyl stanoven limit zatěžovací tahové síly, zatížení působilo do selhání kotvících

prvků. Zatěžovací rychlost u všech zkoušek byla zvolena tak, posun hydraulického lisu byl 1 mm/min. Minimálně u poloviny vzorků z každé sady byla dráha při určitém zatížení zastavena a sledovalo se, zdali dochází k poklesu síly  $F$ . Pokud by k tomuto jevu došlo, znamenalo by to, že dochází ke ztrátě únosnosti kotvících prvků.

*Tabulka 6 četnost zkoušek - simulace reálného zatížení*

<b>Počet zkušebních vzorků - simulace reálného zatížení kotevních prvků</b>			
<b>Specifikace zatížení</b>	<b>Beton</b>	<b>Keramika</b>	<b>Plynosilikát</b>
zatěžování drahou 1 mm/min bez přerušení zatěžování	0	3	3
zatěžování drahou 1 mm/min s přerušením zatěžování	3	3	3
<b>Celkový počet vzorků</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

*Tabulka 7 četnost zkoušek - výtažné zkoušky*

<b>Počet zkušebních vzorků - výtažné zkoušky kotvících prvků</b>			
<b>Specifikace zatížení</b>	<b>Beton</b>	<b>Keramika</b>	<b>Plynosilikát</b>
zatěžování drahou 1 mm/min bez přerušení zatěžování	3	2	2
<b>Celkový počet vzorků</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

## 5.1 Výsledky měření – beton

Kotevní sestava pro beton je popsána v kapitole 4.3. Kotevní sestava obsahuje dvojici závitových tyčí, chemickou maltu a „H“ kotvu.

### 5.1.1 Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků

Byly zkoušeny 3 vzorky. Vzhledem k bezpečnosti byla zvolena u betonových vzorků maximální zatěžovací síla cca  $F=20,0$  kN. Při dosažení této hraniční síly nedošlo k poruše bloků ani kotvících prvků. V tabulce 8 jsou uvedeny výsledky zkoušek. V prvním sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k prvním trhlinám při určité síle  $F$  a posunu lisu. Ve druhém sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k selhání kotvících prvků nebo betonového bloku.

Tabulka 8 výsledky zkoušek simulace reálného zatížení

Vzorek	1. trhliny/deformace [kN/mm]	Selhání/deformace [kN/mm]
B1	-	20,0/16,7*
B2	-	19,5/16,6*
B3	-	19,8/16,1*

\* *nedošlo k selhání betonu ani kotvících prvků, lis byl vypnut z důvodu bezpečnosti.*

Při síle cca 19,5 kN byl u vzorků B1 a B3 zastaven posun lisu a bylo sledováno kolísání síly F potřebné k udržení dané deformace. U vzorků nebyl zaznamenán pokles únosnosti kotevních prvků. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9 a 10. První řádek tabulky popisuje stav, kdy byl posun lisu zastaven, poslední řádek tabulky popisuje stav, kdy se síla F potřebná k udržení dané deformace ustálila a zůstala konstantní, v té chvíli bylo znovu spuštěn posun lisu.

Tabulka 9 přerušení posunu lisu - B1

B1		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
19,9	16,7	492
.	.	.
.	.	.
19,9	16,7	538

U vzorku B1 byl posun lisu zastaven při síle 19,9 kN a posunu 16,7 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Nebyl zaznamenán vznik prasklin.

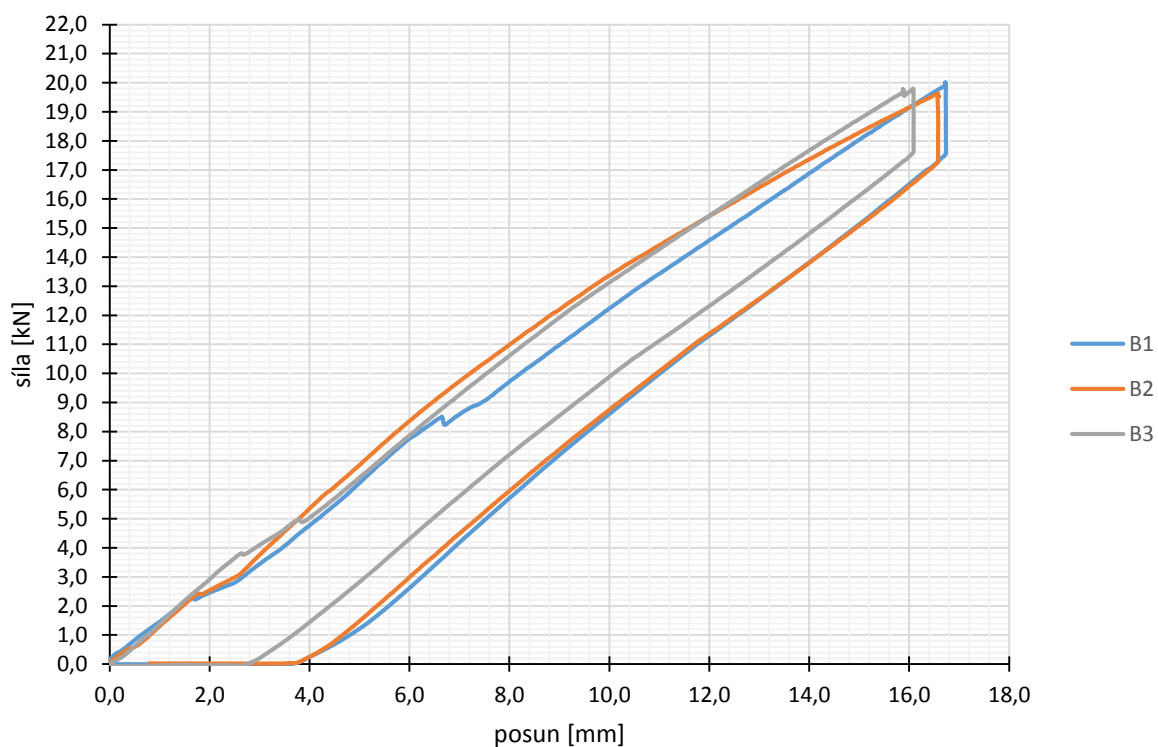
Tabulka 10 přerušení posunu lisu - B3

B3		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
19,6	15,9	438
.	.	.
.	.	.
19,6	15,9	516

U vzorku B3 byl posun lisu zastaven při síle 19,6 kN a posunu 15,9 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Nebyl zaznamenán vznik prasklin.

Níže na grafu 1 jsou graficky znázorněny průběhy zkoušek vzorků B1-3. U vzorků nedošlo do síly 20,0 kN ke ztrátě únosnosti ani porušení vzorků.

Graf 1 průběh zkoušky simulace reálného působení zatížení - beton



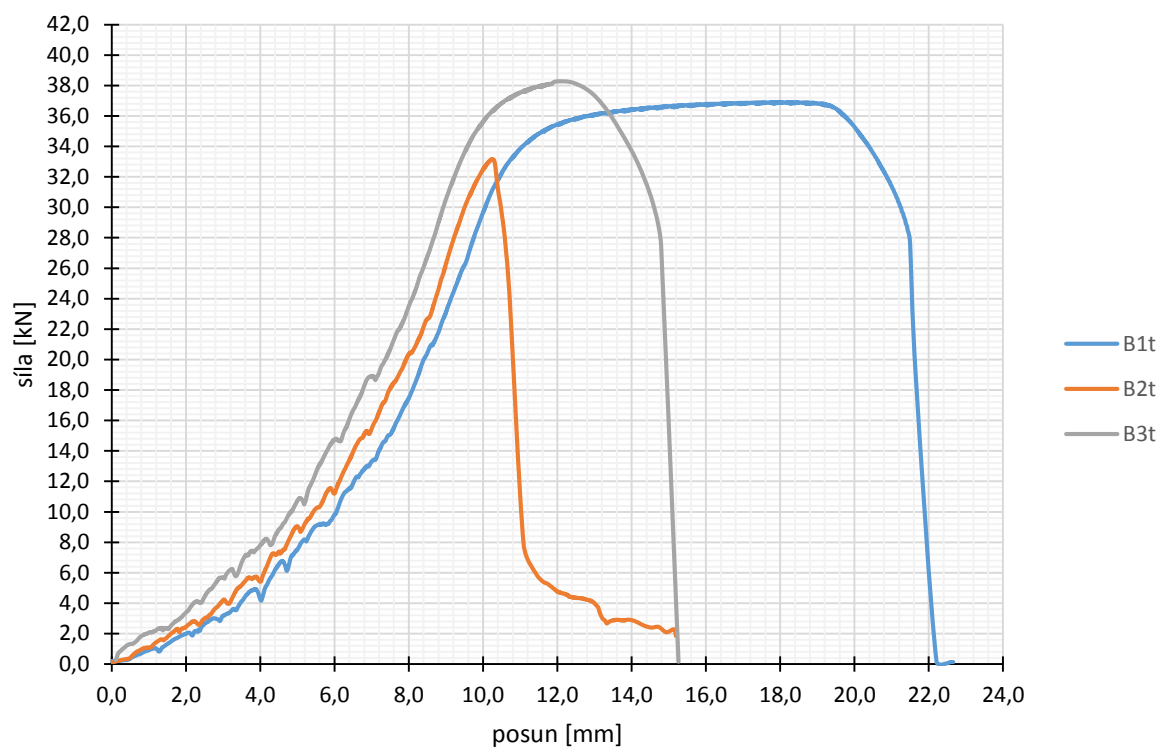
### 5.1.2 Experimentální výtahné zkoušky

Doplňkově byly provedeny výtahné zkoušky jedné kotvy (závitová tyč + chemická malta). Na kotvicí prvky bylo působeno tahovou silou. Zkoušeny byly 3 vzorky. U vzorků B1t a B3t došlo k selhání závitové tyče, viz obrázek 36, typ poruchy A podle obrázku 15 v kapitole 3.3, u vzorku B2t došlo k selhání betonu a přitmělení, viz obrázek 37, typ poruchy D podle obrázku 15 v kapitole 3.3. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 11 a jejich průběh znázorněn v grafu 2.

Tabulka 11 výtahné zkoušky - beton

Vzorek	Selhání/deformace [kN/mm]	Typ selhání
B1t	36,9/18,4	přetržení závitové tyče
B2t	33,1/10,3	rozlomení bloku betonu
B3t	37,0/13,1	přetržení závitové tyče

*Graf 2 průběh výtažných zkoušek - beton*



*Obrázek 36 selhání ocele u vzorků B1t a B3t*





*Obrázek 37 selhání přitmělení a betonu v případě vzorku B2t*



## **5.2 Výsledky měření – keramika**

Kotevní sestava pro keramickou dutinovou tvárnici je popsána v kapitole 4.4. Kotevní sestava obsahuje dvojici závitových tyčí, perforované plastové sítko, chemickou maltu a „H“ kotvu.

### **5.2.1 Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků**

Bylo zkoušeno 6 vzorků. Vzorky byly zkoušeny do selhání únosnosti, vytržení kotvících prvků nebo porušení keramické dutinové tvárnice. V tabulce 12 jsou uvedeny výsledky zkoušek. V prvním sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k prvním trhlinám při určité síle  $F$  a posunu lisu. Ve druhém sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k selhání kotvících prvků nebo keramické tvárnice. Při všech zkouškách nedošlo k porušení závitové tyče. Ve všech případech došlo k porušení keramické tvárnice, zejména v místě otláčení „H“ kotvou.



Tabulka 12 výsledky zkoušek simulace reálného zatížení

Vzorek	1. trhliny/deformace [kN/mm]	Selhání/deformace [kN/mm]
K1	10,9/13,1	10,9/13,0
K2	10,7/11,9	10,8/13,0
K3	11,0/12,6	11,4/13,4
K4	9,2/12,4	9,8/13,4
K5	7,3/15,9	10,8/14,7
K6	9,1/11,6	9,1/11,7

U 3 vzorků, K2, K4, K6, byl zastaven posun lisu, při zatížení cca  $F=6,0-6,1$  kN, u vzorku K6 byl posun zastaven ještě při zatěžovací síle  $F=9,0$  kN a bylo sledováno kolísání síly  $F$  potřebné k udržení dané deformace, ostatní vzorky byli zatěžováni bez přerušení. Při přerušení posunu nedošlo k výraznému poklesu síly  $F$ , a tedy nebyla ohrožena únosnost kotvících prvků. Hodnoty jsou uvedeny tabulce 13-16. První řádek tabulky popisuje stav, kdy byl posun lisu zastaven, poslední řádek tabulky popisuje stav, kdy se síla  $F$  potřebná k udržení dané deformace ustálila a zůstala konstantní, v té chvíli bylo znovu spuštěn posun lisu.

Tabulka 13 přerušení posunu lisu - K2

K2		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
6,0	7,1	417
.	.	.
.	.	.
6,0	7,1	674

U vzorku K2 byl posun lisu zastaven při síle 6,0 kN a posunu 7,1 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Nebyl zaznamenán vznik prasklin.

Tabulka 14 přerušení posunu lisu - K4

K4		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
6,1	8,8	507
.	.	.
.	.	.
6,1	8,8	666

U vzorku K4 byl posun lisu zastaven při síle 6,1 kN a posunu 8,8 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Nebyl zaznamenán vznik prasklin.

Tabulka 15 přerušení posunu lisu - K6

K6		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
6,6	7,8	456
.	.	.
.	.	.
6,5	7,8	789

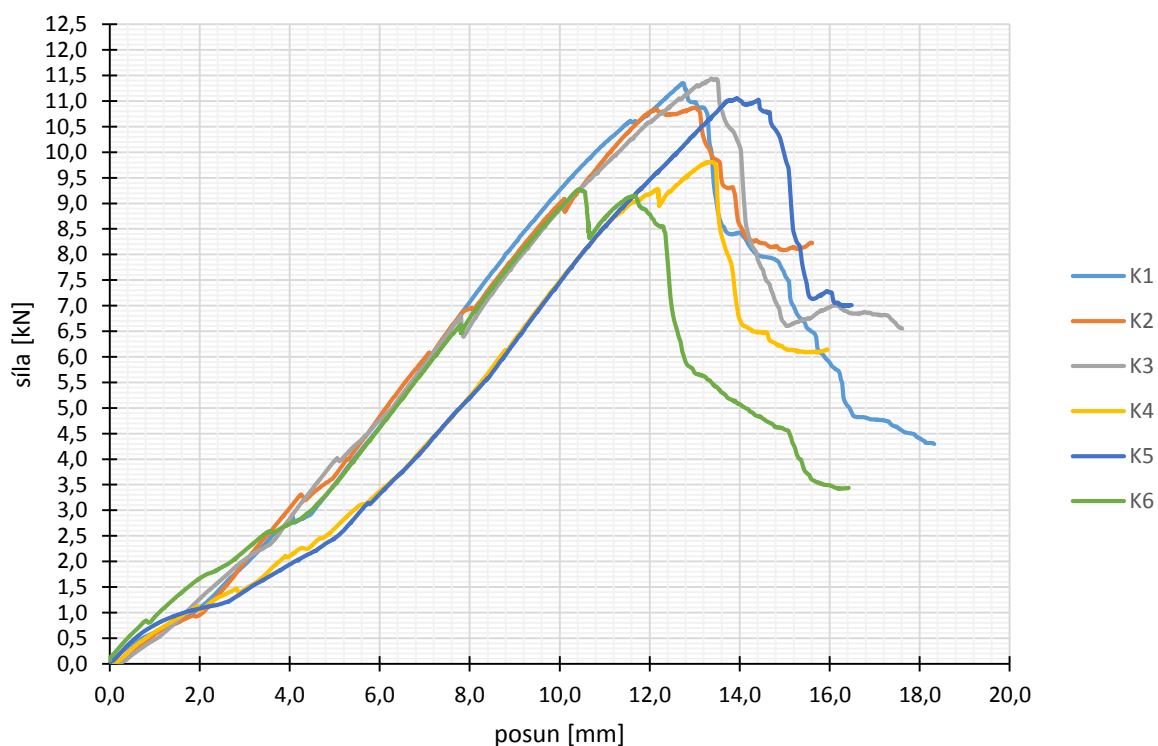
U vzorku K6 byl posun lisu zastaven při síle 6,6 kN a posunu 7,8 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Nebyl zaznamenán vznik prasklin.

Tabulka 16 přerušení posunu lisu - K6

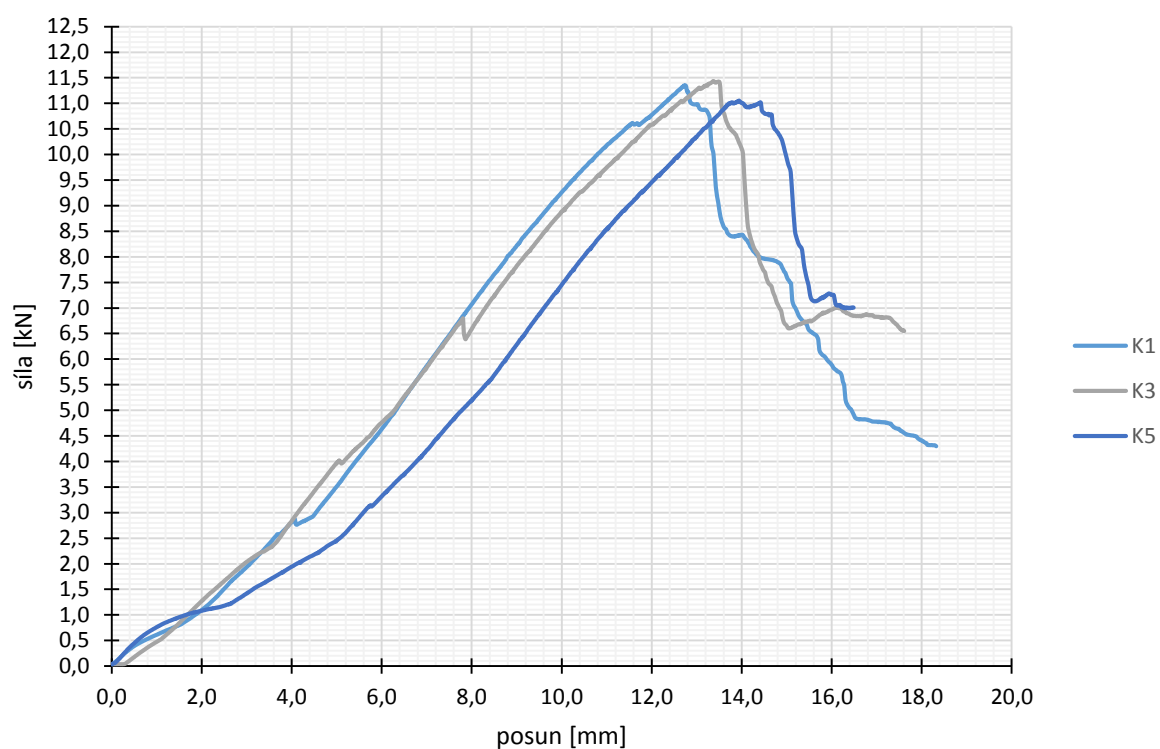
K6		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
9,0	10,6	953
.	.	.
.	.	.
8,3	10,7	1215

U vzorku K6 byl posun lisu zastaven také při síle 9,0 kN a posunu 10,6 mm. Při dané deformaci zůstala síla na stejné hodnotě. Síla klesla při konstantní deformaci na hodnotu 8,3 kN. Nebyl zaznamenán vznik prasklin, ovšem docházelo k vnitřním poruchám a při opětovném spuštění zatěžování došlo při síle 9,1 kN a deformaci 11,6 mm k prvním trhlinám a následnému selhání únosnosti.

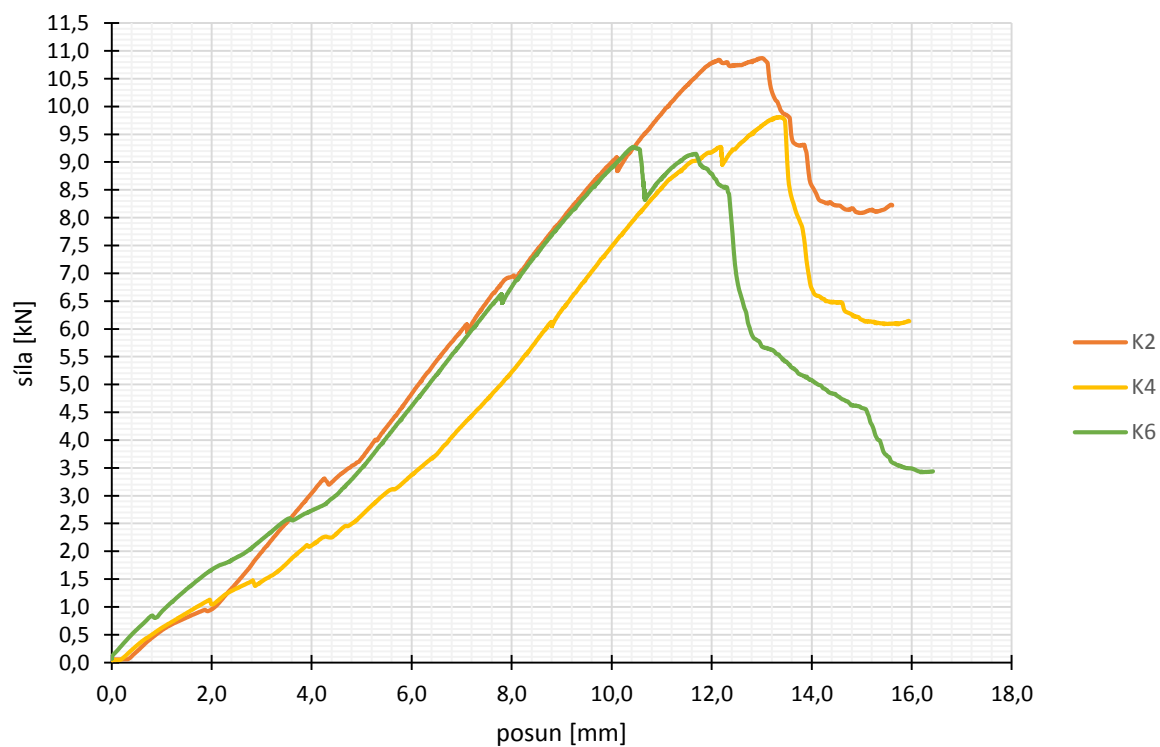
Graf 3 průběh zkoušek simulace reálného zatížení - keramika



**Graf 4** průběh zkoušek simulace reálného zatížení – keramika - bez přerušení posunu

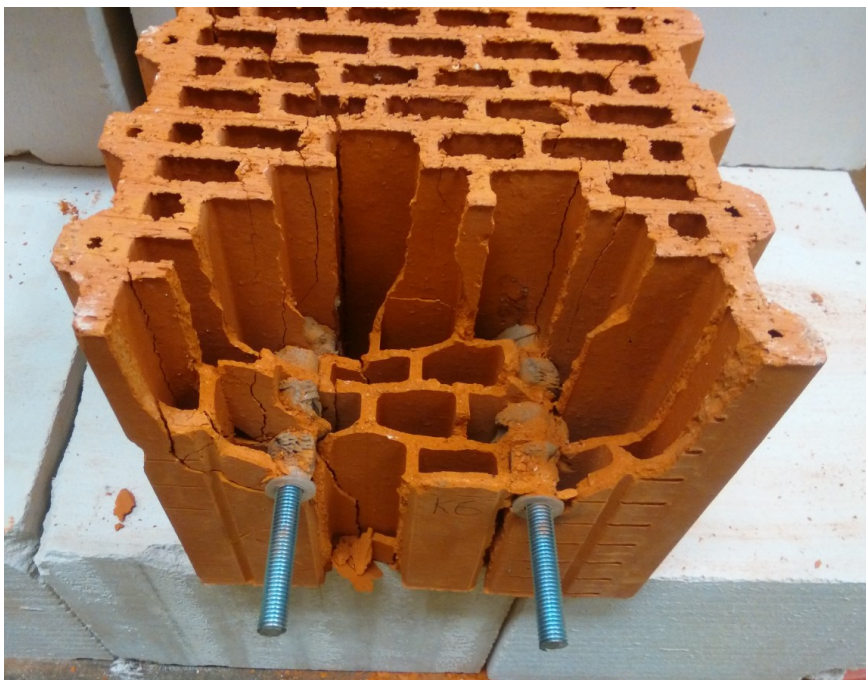


**Graf 5** průběh zkoušek simulace reálného zatížení – keramika - s přerušáním posunu



Na obrázku 38 je vidět typické porušení keramického bloku. Vlivem otláčení „H“ kotvy dojde k prolomení stěn tvárnice a vzniku trhlin po celé její výšce. Taková to porucha nastala u všech zkoušených keramických vzorků.

*Obrázek 38 typické porušení keramické tvárnice*



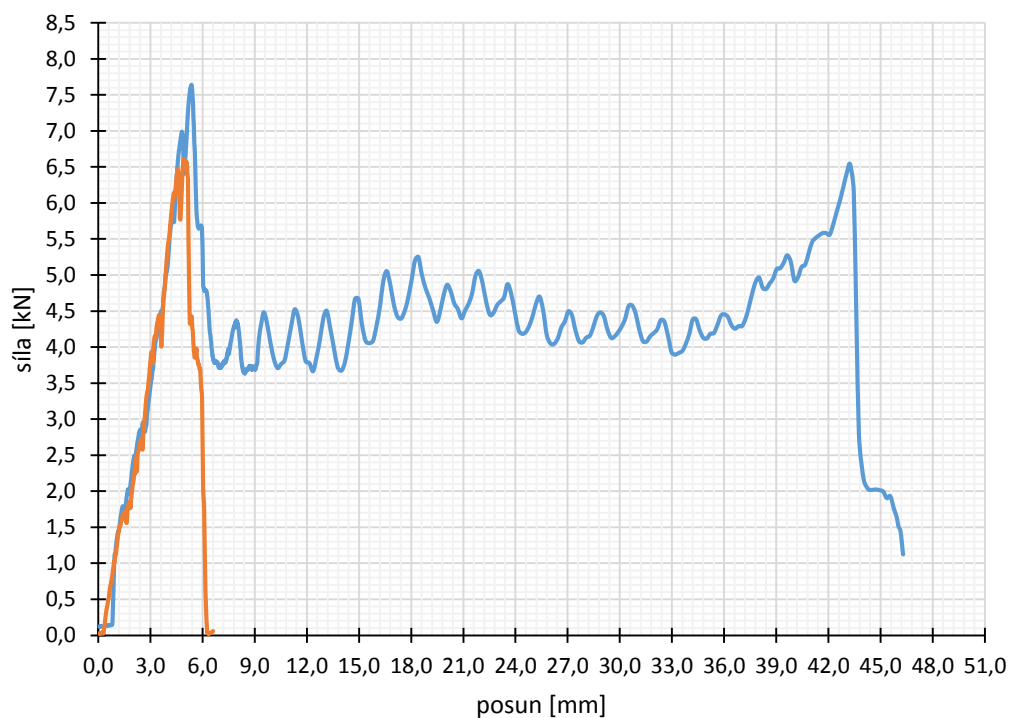
### 5.2.2 Experimentální výtažné zkoušky

Doplňkově byly provedeny výtažné zkoušky jedné kotvy (závitová tyč + chemická malta). Na kotvicí prvky bylo působeno tahovou silou. Zkoušeny byly 2 vzorky. Vzorek K1t do síly 5,1 kN s maximálním posuvem 4,0 mm odolával bez zjevných poruch, poté došlo k porušení keramické tvárnice a při síle 7,6 kN a posunu 5,3 mm došlo ke ztrátě únosnosti. Síla klesla a kolísala na hranici 4,5 kN v této fázi nastal radikální nárůstu posunu, až na hodnotu 42,0 mm kdy docházelo k selhání přitmělení na styku závitová tyč chemická malta. Závitová tyč se vysunula ze sítka o cca 39,0 mm a poté se při síle 6,54 kN a posunu 43,5 mm došlo přetržení sítka, obrázek 39. Vzhledem ke konstrukci lisu nebylo možné sledovat vznik trhlin. U vzorku K2t nedošlo k selhání přitmělení na styku závitová tyč chemická malta ani k přetržení sítka. K selhání únosnosti došlo při tahovém zatížení 6,6 kN a posunu 4,9 mm. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 17. a níže je uveden graf průběhu zkoušky.

Tabulka 17 výtažné zkoušky - keramická tvárnice

Vzorek	Selhání/deformace [kN/mm]	Typ selhání
K1t	7,6/5,3	vytržení kotvicích prvků
K2t	6,6/4,9	vytržení kotvicích prvků

Graf 6 průběh výtažných zkoušek - keramika



Obrázek 39 selhání přitmělení a přetržení sítky u vzorku K1t



### 5.3 Výsledky měření – plynosilikát

Kotevní sestava pro plynosilikát je popsána v kapitole 4.5. Kotevní sestava obsahuje dvojici závitových tyčí, středící plastovou vložku, chemickou maltu a „H“ kotvu.

#### 5.3.1 Experimentální zkoušky simulace reálného zatížení kotevních prvků

Bylo zkoušeno 6 vzorků. Vzorky byly zkoušeny do selhání únosnosti, vytržení kotvicích prvků nebo porušení bloku plynosilikátu. V tabulce 18 jsou uvedeny výsledky zkoušek. V prvním sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k prvním trhlinám při určité síle  $F$  a posunu lisu. Ve druhém sloupci jsou uvedeny hodnoty, při nichž došlo k selhání kotvicích prvků nebo bloku plynosilikátu. Při všech zkouškách nedošlo k porušení závitové tyče. Ve všech případech došlo k porušení bloku plynosilikátu, zejména v místě otlačení „H“ kotvou.

*Tabulka 18 výsledky zkoušek simulace reálného zatížení*

Vzorek	1. trhliny/deformace [kN/mm]	Selhání/deformace [kN/mm]
Y1	7,8/21,5	8,0/23,5
Y2	6,4/12,0	6,6/13,2
Y3	6,3/12,8	6,7/21,9
Y4	6,4/8,7	6,5/9,5
Y5	7,8/14,4	8,1/17,1
Y6	6,0/11,3	6,0/11,3

U 3 vzorků, Y2, Y3, Y6, byl zastaven posun lisu, při zatížení cca  $F=6,0$  kN, a bylo sledováno kolísání síly  $F$  potřebné k udržení dané deformace, ostatní vzorky byli zatěžováni bez přerušení. Při přerušení posunu došlo k výraznému poklesu síly  $F$  cca o 0,5 kN a tedy byla ohrožena únosnost kotvicích prvků. Vzhledem ke struktuře plynosilikátu docházelo k vnitřní deformaci a borcení pórovitého materiálu. Při zastavování vzorku Y6 došlo při 6,0 kN ke vzniku prasklin a zatěžovací síla  $F$  pro udržení dané deformace klesla na hodnotu 4,31 – 4,19 kN. Hodnoty jsou uvedeny tabulce 13-16. První řádek tabulky popisuje stav, kdy byl posun lisu zastaven, poslední řádek tabulky popisuje stav, kdy se síla  $F$  potřebná k udržení dané deformace ustálila a zůstala konstantní, v té chvíli bylo znovu spuštěn posun lisu.

Tabulka 19 přerušení posunu lisu - Y2

Y2		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
6,0	11,1	635
.	.	.
.	.	.
5,6	11,1	1037

U vzorku Y2 byl posun lisu zastaven při síle 6,0 kN a posunu 11,1 mm. Při dané deformaci klesla síla na hodnotu 5,6 kN. Nebyl zaznamenán vznik prasklin. Ovšem docházelo k deformaci uvnitř bloku pravděpodobně borcením pórů materiálu.

Tabulka 20 přerušení posunu lisu - Y3

Y3		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
6,0	11,6	652
.	.	.
.	.	.
5,5	11,7	1007

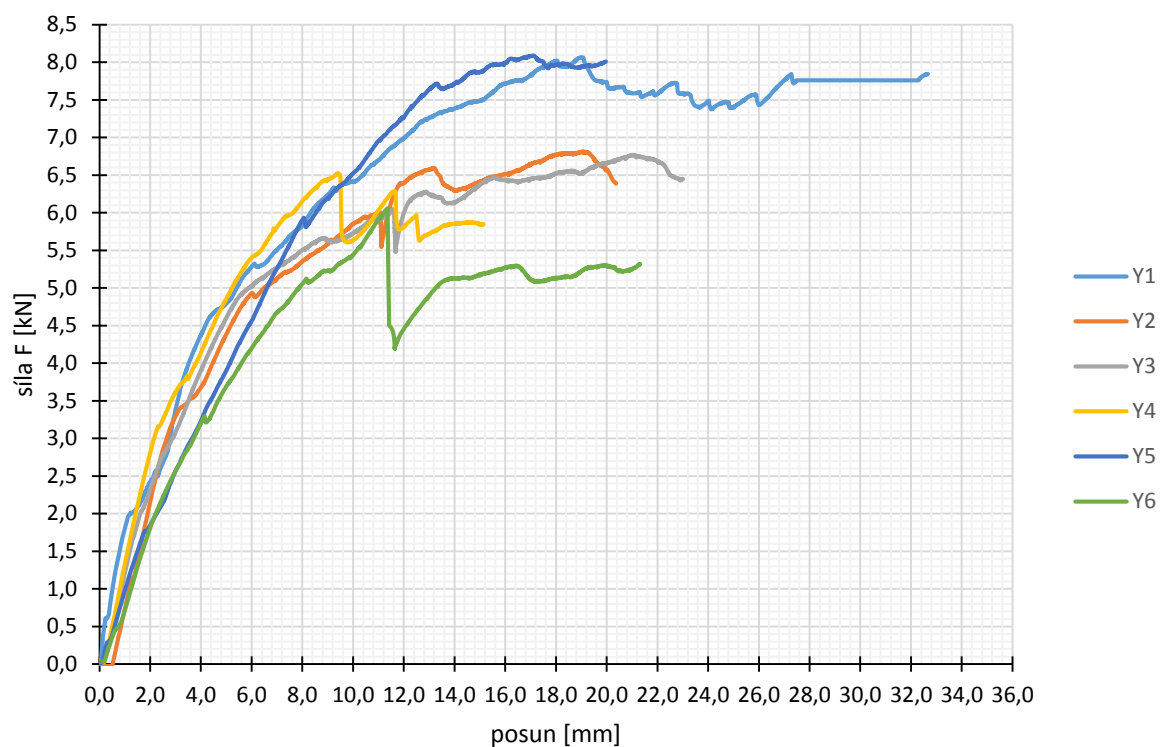
U vzorku Y3 byl posun lisu zastaven při síle 6,0 kN a posunu 11,6 mm. Při dané deformaci klesla síla na hodnotu 5,5 kN. Nebyl zaznamenán vznik prasklin. Ovšem docházelo k deformaci uvnitř bloku pravděpodobně borcením pórů materiálu.

Tabulka 21 přerušení posunu - Y6

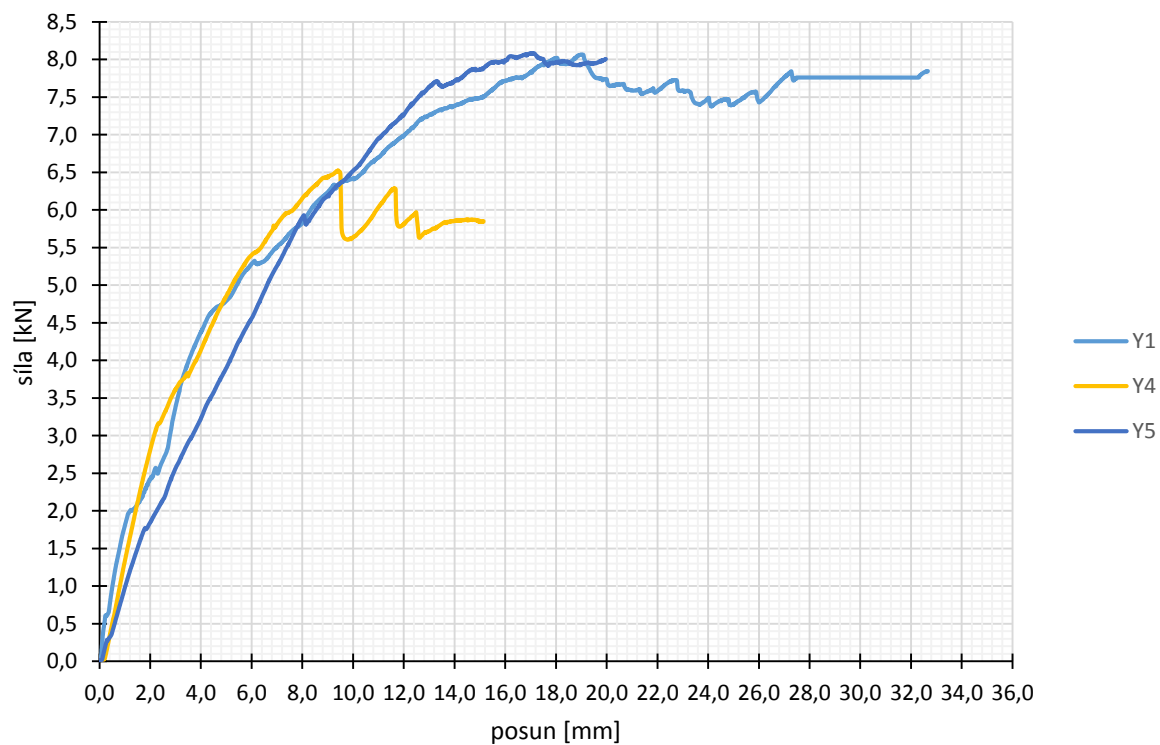
Y6		
F [kN]	posun [mm]	čas [s]
4,3	11,6	655
.	.	.
.	.	.
4,2	11,6	676

U vzorku Y6 měl být posun lisu zastaven při síle 6,0 kN. V okamžiku zastavování posunu, došlo ke vzniku prasklin, ztráty únosnosti a pokles síly na hodnotu 4,3 kN a posunu 11,6 mm. Při dané deformaci klesla síla na hodnotu 4,2 kN. Při těchto silách docházelo k rozšiřování prasklin a snižování únosnosti kotevních prvků.

**Graf 7** průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát

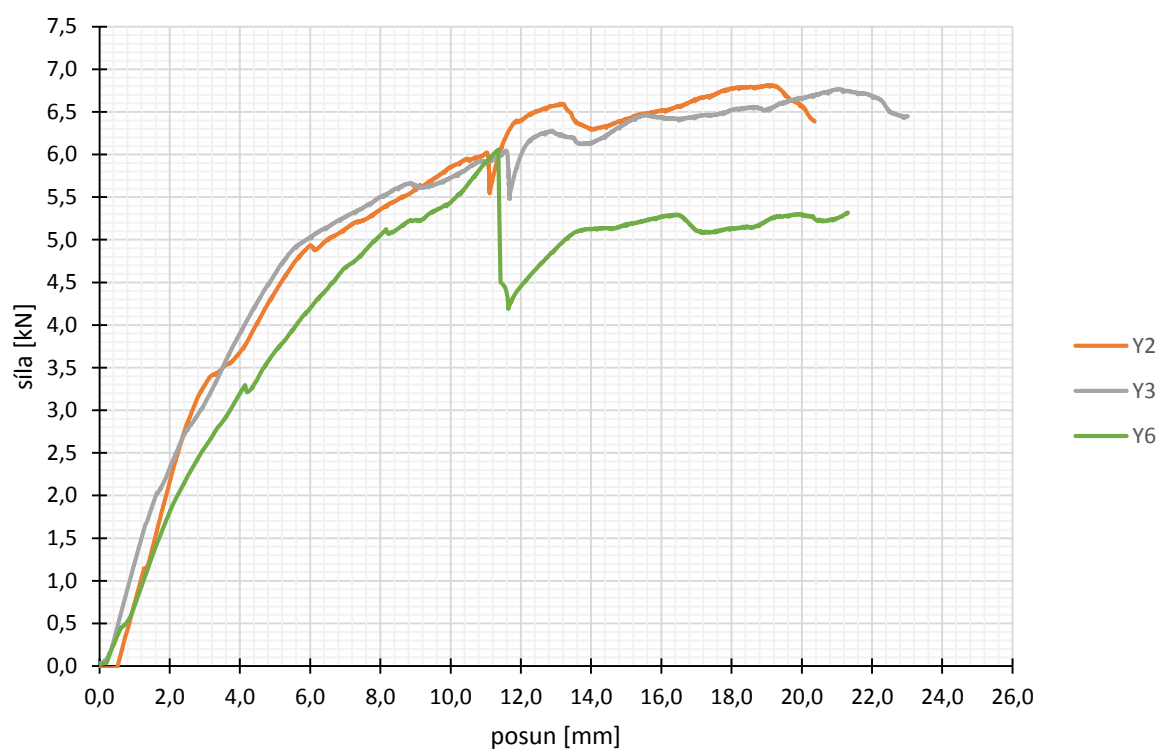


**Graf 8** průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát - bez přerušení posunu





*Graf 9 průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát - s přerušením posunu*



Na obrázku 40-41 lze vidět typickou poruchu plynosilikátového bloku. Na rozdíl od keramické dojde k rozlomení části bloku pod osou otáčení „H“ kotvy.

*Obrázek 40 typická porucha plynosilikátového bloku*



*Obrázek 41 typická porucha plynosilikátového bloku*

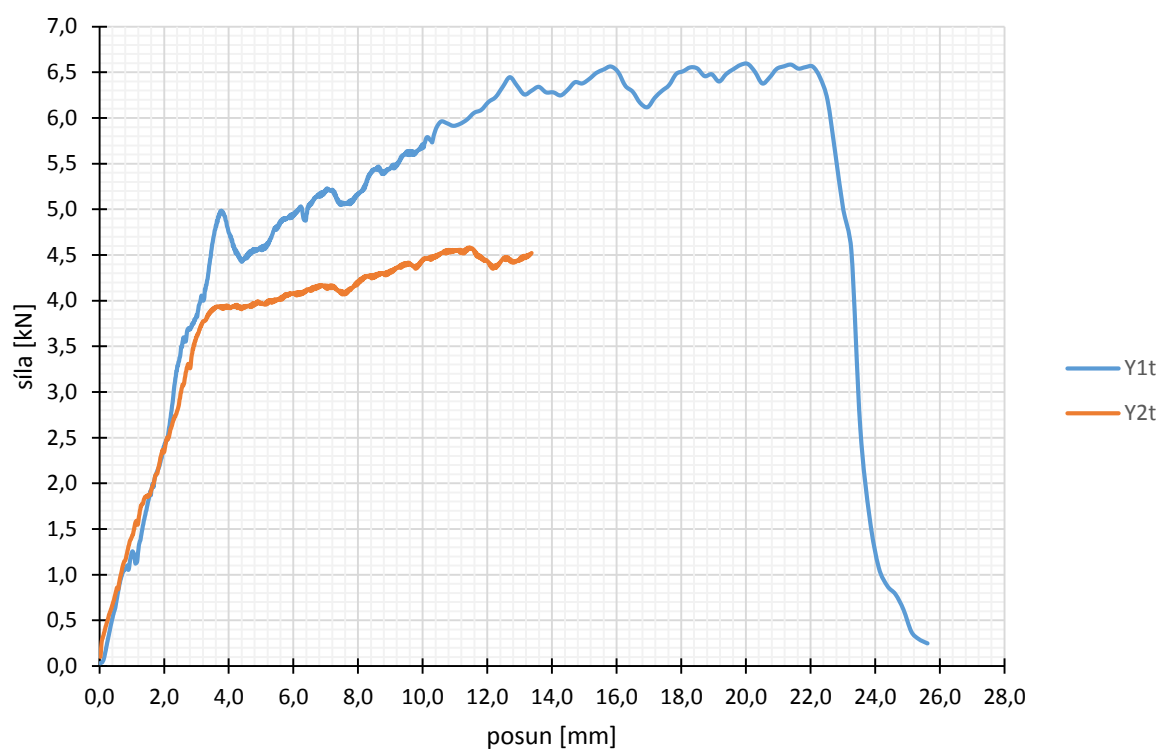
### 5.3.2 Experimentální výtažné zkoušky

Doplňkově byly provedeny výtažné zkoušky jedné kotvy (závitová tyč + chemická malta). Na kotvicí prvky bylo působeno tahovou silou. Zkoušeny byly 2 vzorky. Vzorek Y1t do síly 1,2 kN s maximálním posuvem 1,0 mm odolával bez zjevných poruch, poté dle grafu klesla síla ze 1,2 kN na 1,1 kN při posunu 1,1 mm, vzhledem k povaze plynosilikátu se jednalo o dotvarování neohrožující únosnost kotevních prvků. Síla poté stoupala na hodnotu 4,7 kN a posunu 3,6 mm bez zjevných poruch. Při síle 5,0 kN a posunu 3,7 mm došlo ke ztrátě únosnosti. Síla poté za růstu deformace, až 21,6 mm, kolísala mezi hodnotami 4,5 – 6,5 kN, poté při tahové síle 6,4 kN a posunu 21,6 mm došlo k vytržení kotvicích prvků z bloku plynosilikátu, obrázek 42. U vzorku Y2t byl průběh téměř shodný s Y1t, síla 3,9 kN při ztrátě únosnosti byla nižší, hodnota posunu 3,6 mm při ztrátě únosnosti byla téměř shodná. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 22 a níže je uveden graf průběhu zkoušky.

*Tabulka 22 výtažné zkoušky - plynosilikát*

Vzorek	Selhání/deformace [kN/mm]	Typ selhání
Y1t	5,0/3,7	vytržení kotvicích prvků
Y2t	3,9/3,6	vytržení kotvicích prvků

*Graf 10 průběh výtažných zkoušek - plynosilikát*



*Obrázek 42 porušení bloku plynosilikátu při výtažné zkoušce*



## 5.4 Srovnání naměřených hodnot

Níže jsou uvedeny výsledky zkoušek reálného působení zatížení na kotvící prvky LOP a výsledky výtahových zkoušek kotvících prvků. Únosnost kotvících prvků byla zkoušena ve třech nejběžnějších materiálech pro nosné konstrukce staveb, beton, keramické dutinové tvárnice a plynosilikát.

### 5.4.1 Srovnání naměřených hodnot jednotlivých zkoušek

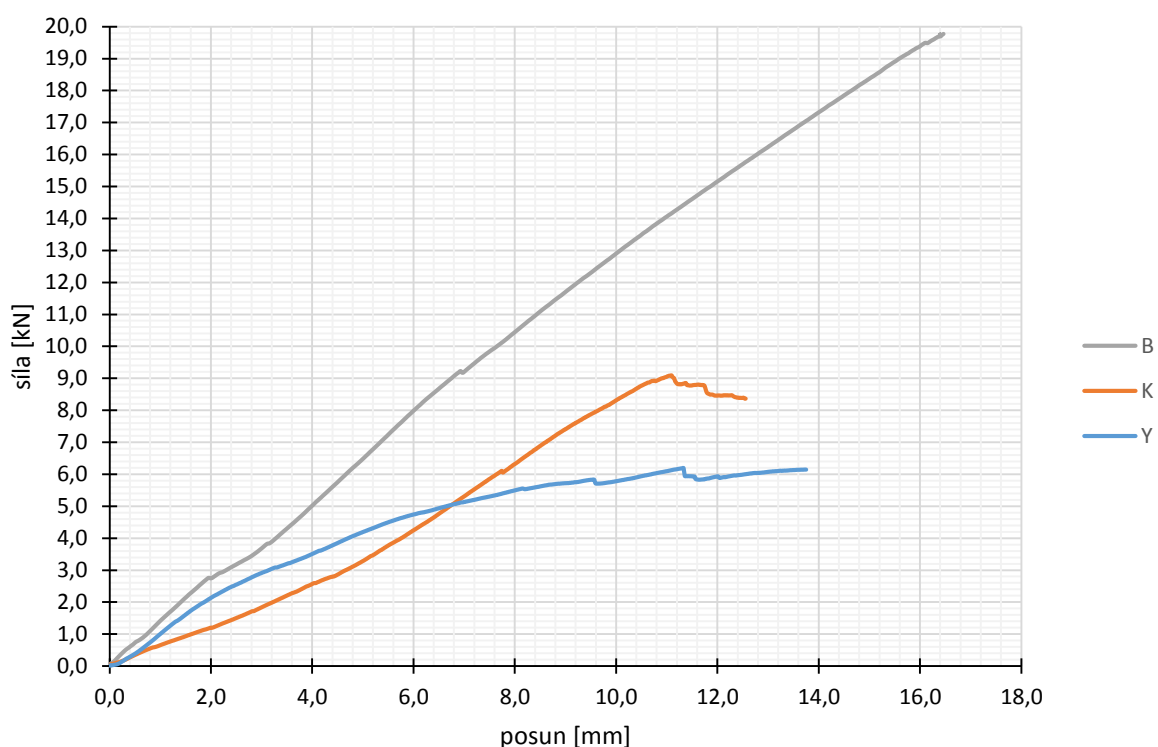
V tabulce 23 je srovnání výsledků simulace reálného zatížení silou  $F$ , viz kapitola 2.4 obrázek 14. Písmenem Bx jsou značeny vzorky betonu, Kx vzorky keramiky, Y vzorky plynosilikátu.

*Tabulka 23 srovnání výsledků zkoušek simulovaného reálného zatížení*

Vzorek	1. trhlina/deformace [kN/mm]	Selhání/deformace [kN/mm]
B1	-	20,0/16,7*
B2	-	19,5/16,6*
B3	-	19,8/16,1*
K1	10,9/13,1	10,9/13,0
K2	10,7/11,9	10,8/13,0
K3	11,0/12,6	11,4/13,4
K4	9,2/12,4	9,8/13,4
K5	7,3/15,9	10,8/14,7
K6	9,1/11,6	9,1/11,7
Y1	7,8/21,5	8,0/23,5
Y2	6,4/12,0	6,6/13,2
Y3	6,3/12,8	6,7/21,9
Y4	6,4/8,7	6,5/9,5
Y5	7,8/14,4	8,1/17,1
Y6	6,0/11,3	6,0/11,3

*\* nedošlo k selhání betonu ani kotvících prvků, lis byl vypnut z důvodu bezpečnosti.*

Hodnoty jednotlivých zkoušek pro dané materiály byly zprůměrovány a tyto průměrné hodnoty jsou graficky zobrazeny v grafu 11.

**Graf 11** průběh zkoušek simulace reálného zatížení - srovnání průměrných hodnot všech materiálů

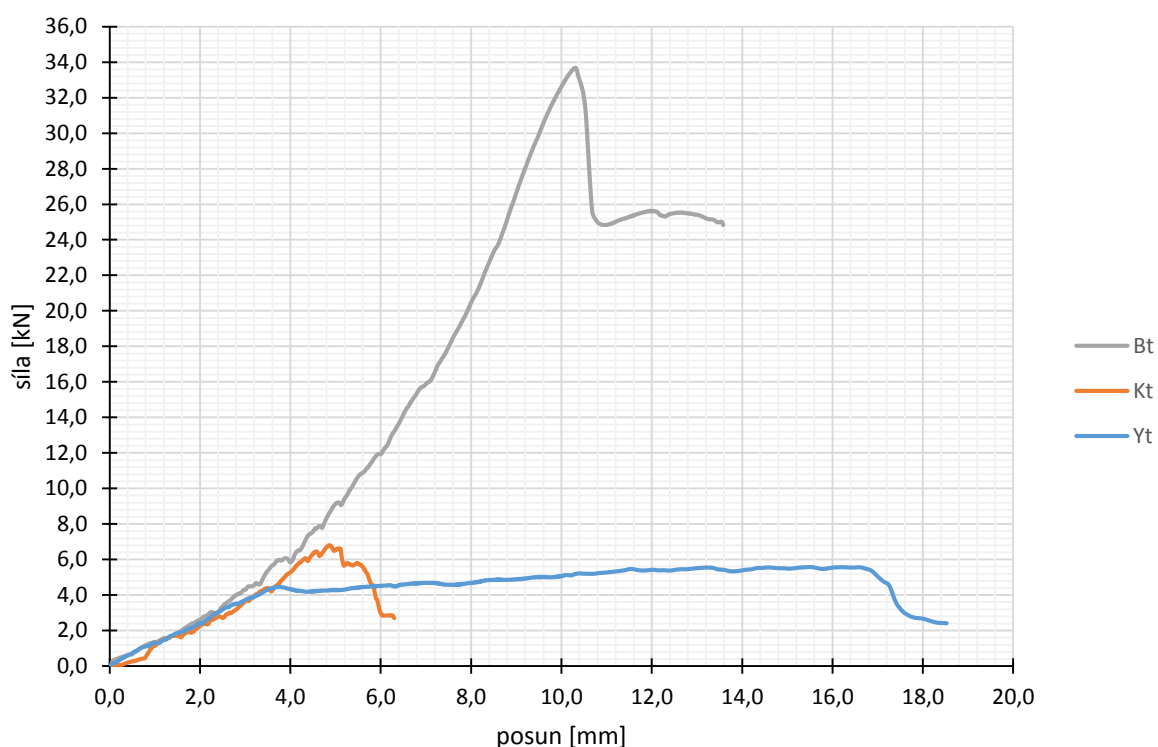
V tabulce 24 jsou uvedeny výsledky výtažných zkoušek. Kotevní prvky byly zatěžovány pouze tahovou silou. Písmenem Bxt jsou značeny vzorky betonu, Kxt vzorky keramiky, Yxt vzorky plynosilikátu.

**Tabulka 24** srovnání výsledků výtažných zkoušek

Vzorek	Selhání/deformace [kN/mm]	Typ selhání
B1t	36,9/18,4	přetržení závitové tyče
B2t	33,1/10,3	rozlomení bloku betonu
B3t	37,0/13,1	přetržení závitové tyče
K1t	7,6/5,3	vytržení kotvících prvků
K2t	6,6/4,9	vytržení kotvících prvků
Y1t	5,0/3,7	vytržení kotvících prvků
Y2t	3,9/3,6	vytržení kotvících prvků

Hodnoty jednotlivých výtažných zkoušek pro dané materiály byly zprůměrovány a tyto průměrné hodnoty jsou graficky zobrazeny v grafu 12.

Graf 12 průběh výtahových zkoušek – srovnání průměrných hodnot všech materiálů



#### 5.4.2 Porovnání naměřených hodnot s garantovanými hodnotami výrobcem

V případě zkoušek simulace reálného zatížení kotevních prvků LOP byla, v tabulce 25, zatěžovací síla  $F$  rozložena na tahové a smykové síly působící na kotevní prvky. Hodnota zatěžovací síly  $F$  byla vzata z tabulky 23 při vzniku prvních trhlin. V případě betonových vzorků byla vzata síla při vypnutí lisu. Z tabulky 24 byly vzaty přímo hodnoty tahové síly při selhání kotevních prvků. Hodnoty tahových a smykových sil jsou uvedeny v tabulce 25, poslední dva sloupce  $N_{perm}$  a  $V_{perm}$  obsahují hodnoty garantovaných tahových a smykových sil, které kotvící prvek bezpečně přenesení [14]. Garantované hodnoty v příloze č. 2.

Síla  $F$  byla rozložena na tahovou sílu  $F_t$  a smykovou sílu  $F_s$  působících na kotevní prvky.

Síly byly rozloženy dle vztahů:

$$M = F \cdot e \quad [kN/m]$$

$$F_s = \frac{F}{n_k} \quad [kN]$$

$$F_t = M \cdot \frac{r_i}{\sum r_i^2} \quad [kN]$$

Tabulka 25 porovnání naměřených hodnot s garantovanými hodnotami

Vzorek	F [kN]	M [kN/m]	Ft [kN]	Fs [kN]	N <sub>perm</sub> [kN]	V <sub>perm</sub> [kN]
B1*	20,0	1,0	11,1	10,0	13,6	12,0
B2*	19,5	1,0	10,8	9,8	13,6	12,0
B3*	19,8	1,0	11,0	9,9	13,6	12,0
K1	10,9	0,5	6,1	5,5	1,0	0,4
K2	10,7	0,5	5,9	5,4	1,0	0,4
K3	11,0	0,6	6,1	5,5	1,0	0,4
K4	9,2	0,5	5,1	4,6	1,0	0,4
K5	7,3	0,4	4,1	3,7	1,0	0,4
K6	9,1	0,5	5,1	4,6	1,0	0,4
Y1	7,8	0,4	4,3	3,9	0,9	0,9
Y2	6,4	0,3	3,6	3,2	0,9	0,9
Y3	6,3	0,3	3,5	3,2	0,9	0,9
Y4	6,4	0,3	3,6	3,2	0,9	0,9
Y5	7,8	0,4	4,3	3,9	0,9	0,9
Y6	6,0	0,3	3,3	3,0	0,9	0,9
B1t	-	-	36,9	-	13,6	-
B2t	-	-	33,1	-	13,6	-
B3t	-	-	37,0	-	13,6	-
K1t	-	-	7,6	-	1,0	-
K2t	-	-	6,6	-	1,0	-
Y1t	-	-	5,0	-	0,9	-
Y2t	-	-	3,9	-	0,9	-

Z tabulky 25 je patrné, že hodnoty naměřené při zkouškách jsou několikanásobně větší než hodnoty deklarované výrobcem kotevních prvků. U hodnot získaných měření musí dojít ke korekci několika součiniteli bezpečnosti dle řídicích pokynů ETAG pro daný materiál a způsob kotvení. Ve výpočtu korekce se zohlední součinitel bezpečnosti pro nosná materiál, ocel a přitmění, dále se při korekci zohlední otláčení a deformace nosného materiálu vlivem „H“ kotvy. Po provedení korekce charakteristické únosnosti kotevních prvků lze určit návrhové hodnoty pro kotvicí prvky LOP. Tento posudek nebyl k povaze tématu diplomové práce a z časových důvodů zpracován a je možné data získaná z měření využít k dalšímu zpracování například disertační práce.

## 6. Závěr

Impulesem pro zpracování diplomové práce na téma únosnost kotevních prvků lehkých obvodových plášťů byly zpřísňující požadavky na energetickou náročnost budov. Snížením spotřeby energie budov téměř na nulu dojde k ovlivnění mnoha konstrukcí tvořící obálku budovy. Mezi tyto konstrukce patří také lehké obvodové pláště, jejichž plocha tvoří mnohdy až 90% z celkové plochy obvodového pláště budovy. Dnes se v drtivé většině případů používá jako zasklívací panel izolační dvojsklo. Jak je uvedeno v textu práce, tento typ zasklení nebude splňovat požadavky pro nulové budovy a bude muset být nahrazen izolačním trojsklem nebo lepším. To bude mít za následek radikální zvýšení zatížení na kotvící prvky lehkých obvodových plášťů.

Cílem diplomové práce bylo vytvořit ucelený obraz o důsledcích zavedení zpřísňujících požadavků Evropského parlamentu na energetickou náročnost budov týkajících se lehkých obvodových plášťů a konkrétně jejich kotvících prvků a ověření jejich skutečné únosnosti.

Pro ekonomický a bezpečný návrh kotevních prvků lehkých obvodových plášťů je velice důležité znát jejich možnosti a reálné limity. V rámci diplomové práce byly provedeny experimentální zkoušky simulující reálné působení zatížení na kotvící prvky lehkých obvodových plášťů. Experimenty mají za úkol simulovat zabudování kotevních prvků do konstrukce stavby. Výstupem diplomové práce jsou hodnoty zatěžovacích sil působících na kotevní prvky, které způsobují jejich selhání. Tyto hodnoty jsou podrobně popsány v kapitole 5. Kotvící prvky byly testovány ve třech nejběžněji používaných materiálech tvořících nosnou konstrukci - beton, keramika, plynosilikát.

Při testování kotvících prvků v betonu nedochází při zkouškách ke vzniku prasklin ani selhání samotných kotvících prvků. Maximální zatěžovací síly byly v rozmezí 19,5-20,0 kN. Při výtažných zkouškách jedné kotvy došlo k selhání únosnosti při tahové síle 33,1-37,0 kN.

Testování kotvících prvků v keramických dutinových tvárnících provázal vznik trhlin při zatěžovacích silách 7,3-11,0 kN a následné selhání keramických tvárníc při zatěžovacích silách v rozmezí 9,1-11,4 kN. Při výtažných zkouškách jedné kotvy došlo k selhání kotvení při tahových silách v rozmezí 6,6-7,6 kN.



Testování kotvicích prvků v plynosilikátových blocích opět doprovázel vznik trhlin. Trhliny vznikaly při zatěžovacích silách 6,0-7,8 kN a následné selhání plynosilikátových bloků při zatěžovacích silách v rozmezí 6,0-8,1 kN. Při výtažných zkouškách jedné kotvy došlo k selhání únosnosti plynosilikátových bloků při tahových silách v rozmezí 3,9-5,0 kN.

Výsledky provedených testů ukazují možnosti kotvení LOP i do částí, které nejsou z betonu. V rámci této diplomové práce se otestovalo 6 vzorků v každém materiálu s výjimkou betonu, u tohoto materiálu byly testovány 3 vzorky. Je potřeba vzít v úvahu malé množství otestovaných vzorků a pro případnou reálnou aplikaci je nutné otestovat vzorků více. Tato práce může sloužit jako základ pro další testy a experimenty zabývající se kotvením.

## 7. Seznam použitých pramenů

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY: o energetické náročnosti budov. 2010/31/EU. 2010.  
Dostupné také z: <http://www.aea.cz/legislativa/legislativa-eu>.
- [2] *Co je COMPACFOAM?* [online]. COMPACFOAM GMBH. [cit. 2015-08-29].  
Dostupné z: <http://www.compacfoam.cz/12-co-je-compacfoam.html>
- [3] *Zákony ALFA9: Jak se vyznat v legislativě?* [online]. [cit. 2015-10-25].  
Dostupné z: <http://zakony.alfa9.cz/legislativa.aspx>
- [4] *STATICKE ROZMERY A MOZNOSTI IZOLACNICH SKEL* [online].  
AKUTERM SKLO a.s., 2014 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z:  
[http://www.akuterm.cz/download/technicke-listy/staticke\\_rozmary.pdf](http://www.akuterm.cz/download/technicke-listy/staticke_rozmary.pdf)
- [5] *ETAG 001- KOVOVÉ KOTVY DO BETONU: Příloha A: PODROBNOSTI ZKOUŠEK*.  
3. vydání. Brusel: EOTA, 2006.
- [6] *ETAG 029: METAL INJECTION ANCHORS FOR USE IN MASONRY: Annex A: DETAILS OF TESTS*. 1. vydání. Brusel: EOTA, 2013.
- [7] *ČSN EN 206-1, Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2014.
- [8] *ČSN EN 12390-3, Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 2009.
- [9] *European Technical Approval ETA-08/0061*. DIBt, 2012.
- [10] *European Technical Approval ETA-10/0383*. DIBt, 2013.
- [11] *European Technical Approval ETA-12/0180*. DIBt, 2013.
- [12] *ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*
- [13] katalog systému LOP firmy ALUPROF
- [14] katalog kotvící techniky FISCHER

## 8. Seznam obrázků, tabulek a grafů

### 8.1 Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> části LOP .....	14
<b>Obrázek 2</b> řez sloupkem LOP, 2sklo, 3sklo .....	18
<b>Obrázek 3</b> pohled na konstrukci LOP .....	19
<b>Obrázek 4</b> Zkouška tahem bez zamezení vzniku porušení .....	22
<b>Obrázek 5</b> Zkouška tahem se zamezením vzniku porušení .....	23
<b>Obrázek 6</b> Zkouška smykem.....	23
<b>Obrázek 7</b> vsuvné kotvy.....	24
<b>Obrázek 8</b> kotvení podepřením - 2x vsuvná kotva .....	25
<b>Obrázek 9</b> kotvení podepřením - vsuvná + "H" kotva .....	26
<b>Obrázek 10</b> pohled na LOP .....	27
<b>Obrázek 11</b> kotvení zavěšením - "H" kotvy.....	28
<b>Obrázek 12</b> "H" kotva .....	29
<b>Obrázek 13</b> působení zatížení na LOP .....	33
<b>Obrázek 14</b> působení zatížení na kotvící prvky LOP .....	33
<b>Obrázek 15</b> příklad návrhu kotev v softwaru FIXPERIENCE .....	34
<b>Obrázek 16</b> poruchy při přetížení .....	37
<b>Obrázek 17</b> kotvící soustava - beton .....	38
<b>Obrázek 18</b> otlačení betonu .....	39
<b>Obrázek 19</b> otlačení betonu .....	39
<b>Obrázek 20</b> kotvící soustava - keramika .....	40
<b>Obrázek 21</b> otlačení keramické tvárnice .....	40
<b>Obrázek 22</b> otlačení keramické tvárnice .....	41
<b>Obrázek 23</b> kotevní soustava - plynosilikát .....	42
<b>Obrázek 24</b> otlačení plynosilikátu .....	42
<b>Obrázek 25</b> porucha plynosilikátu .....	43
<b>Obrázek 26</b> pozice kotevních prvků .....	44
<b>Obrázek 27</b> přípravek pro upnutí bloků - 3D návrh.....	45
<b>Obrázek 28</b> přípravek pro upínání bloků - boční pohled .....	45
<b>Obrázek 29</b> výrobní dokumentace upínací krabice .....	46
<b>Obrázek 30</b> upínací přípravek .....	46

<b>Obrázek 31</b> upínací krabice s blokem .....	47
<b>Obrázek 32</b> umístění čidel .....	47
<b>Obrázek 33</b> postup kotvení - beton .....	48
<b>Obrázek 34</b> postup kotvení - keramika - dutinové tvárnice .....	49
<b>Obrázek 35</b> postup kotvení - plynosilikát .....	50
<b>Obrázek 36</b> selhání ocele u vzorků B1t a B3t .....	55
<b>Obrázek 37</b> selhání přitmelení a betonu v případě vzorku B2t .....	56
<b>Obrázek 38</b> typické porušení keramické tvárnice .....	60
<b>Obrázek 39</b> selhání přitmelení a přetržení sítky u vzorku K1t .....	61
<b>Obrázek 40</b> typická porucha plynosilikátového bloku .....	65
<b>Obrázek 41</b> typická porucha plynosilikátového bloku .....	66
<b>Obrázek 42</b> porušení bloku plynosilikátu při výtažné zkoušce .....	67

## 8.2 Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> výstupy ze softwaru MBCAD .....	19
<b>Tabulka 2</b> návrh dimenze dvojskel .....	21
<b>Tabulka 3</b> parametry kotvení - beton .....	48
<b>Tabulka 4</b> parametry kotvení - keramická dutinová tvárnice .....	50
<b>Tabulka 5</b> parametry kotvení - plynosilikát .....	51
<b>Tabulka 6</b> četnost zkoušek - simulace reálného zatížení .....	52
<b>Tabulka 7</b> četnost zkoušek - výtažné zkoušky .....	52
<b>Tabulka 8</b> výsledky zkoušek simulace reálného zatížení .....	53
<b>Tabulka 9</b> přerušení posunu lisu - B1 .....	53
<b>Tabulka 10</b> přerušení posunu lisu - B3 .....	53
<b>Tabulka 11</b> výtažné zkoušky - beton .....	54
<b>Tabulka 12</b> výsledky zkoušek simulace reálného zatížení .....	57
<b>Tabulka 13</b> přerušení posunu lisu - K2 .....	57
<b>Tabulka 14</b> přerušení posunu lisu - K4 .....	57
<b>Tabulka 15</b> přerušení posunu lisu - K6 .....	58
<b>Tabulka 16</b> přerušení posunu lisu - K6 .....	58
<b>Tabulka 17</b> výtažné zkoušky - keramická tvárnice .....	61
<b>Tabulka 18</b> výsledky zkoušek simulace reálného zatížení .....	62
<b>Tabulka 19</b> přerušení posunu lisu - Y2 .....	63

<b>Tabulka 20</b> přerušení posunu lisu - Y3 .....	63
<b>Tabulka 21</b> přerušení posunu - Y6.....	63
<b>Tabulka 22</b> výtažné zkoušky - plynosilikát .....	66
<b>Tabulka 23</b> srovnání výsledků zkoušek simulovaného reálného zatížení .....	68
<b>Tabulka 24</b> srovnání výsledků výtažných zkoušek.....	69
<b>Tabulka 25</b> porovnání naměřených hodnot s garantovanými hodnotami .....	71

### 8.3 Seznam grafů

<b>Graf 1</b> průběh zkoušky simulace reálného působení zatížení - beton .....	54
<b>Graf 2</b> průběh výtažných zkoušek - beton.....	55
<b>Graf 3</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení - keramika.....	58
<b>Graf 4</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení – keramika - bez přerušení posunu.....	59
<b>Graf 5</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení – keramika - s přerušením posunu.....	59
<b>Graf 6</b> průběh výtažných zkoušek - keramika .....	61
<b>Graf 7</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát.....	64
<b>Graf 8</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát - bez přerušení posunu .....	64
<b>Graf 9</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení - plynosilikát - s přerušením posunu .....	65
<b>Graf 10</b> průběh výtažných zkoušek - plynosilikát.....	67
<b>Graf 11</b> průběh zkoušek simulace reálného zatížení - srovnání průměrných hodnot všech materiálů.....	69
<b>Graf 12</b> průběh výtažných zkoušek – srovnání průměrných hodnot všech materiálů.....	70

## **9. Přílohy**

Příloha č. 1	Protokol návrhu kotvicích prvků – software FIXPERIENCE
Příloha č. 2	Katalog kotvicí techniky FISCHER, strany 104, 120,126
Příloha č. 3	CD